



مدخل الى فلسفة العلوم

العقلانية المعاصرة وتطور الفكر العلمي

الدكتور محمد عابد الجابري



مركز دراسات الوحدة العربية

مدخل الى فلسفة العلوم

العقلانية المعاصرة وتطور الفكر العلمي

الدكتور محمد عابد الجابري

الفهرسة أثناء النشر - إعداد مركز دراسات الوحدة العربية
الجابري، محمد عابد
مدخل إلى فلسفة العلوم: العقلانية المعاصرة وتطور الفكر العلمي/
محمد عابد الجابري.
٤٧٧ ص.
بيليوغرافية: ص ٤٧٣ - ٤٧٧.
ISBN 9953-431-13-2
١. فلسفة العلم. ٢. نظرية المعرفة. ٣. الرياضيات. أ. العنوان.
121

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة
عن اتجاهات يتبناها مركز دراسات الوحدة العربية»

مركز دراسات الوحدة العربية

بناية «سادات تاور» شارع ليون ص.ب: ٦٠٠١ - ١١٣
الحمراء - بيروت ٢٠٩٠ ١١٠٣ - لبنان
تلفون: ٨٦٩١٦٤ - ٨٠١٥٨٢ - ٨٠١٥٨٧
برقياً: «مرعربي» - بيروت
فاكس: ٨٦٥٥٤٨ (٩٦١١)
e-mail: info@caus.org.lb
Web Site: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت؛ الدار البيضاء، ١٩٧٦
الطبعة الثانية: بيروت؛ الدار البيضاء، ١٩٨٢
الطبعة الثالثة: بيروت، كانون الثاني/يناير ١٩٩٤
الطبعة الرابعة: بيروت، تموز/يوليو ١٩٩٨
الطبعة الخامسة: بيروت، حزيران/يونيو ٢٠٠٢

المحتويـات

الجزء الأول
تطور الفكر الرياضي والعقلانية المعاصرة
دراسات ونصوص في الايبستيمولوجيا المعاصرة

القسم الأول
تطور الفكر الرياضي والعقلانية المعاصرة

القسم الثاني
النصوص

الجزء الثاني
المنهاج التجريبي وتطور الفكر العلمي
دراسات ونصوص في الايبستيمولوجيا المعاصرة

القسم الأول
المنهاج التجريبي: الفرضية والنظرية

القسم الثاني
تطور الأفكار في الفيزياء

القسم الثالث
النصوص

مُقدّمة الكتاب

تكتسي الدراسات الابستيمولوجية - التي تتناول قضايا المعرفة عامة والفكر العلمي خاصة - أهمية بالغة في الوقت الحاضر. بل يمكن القول إنها الميدان الرئيسي الذي يستقطب الأبحاث الفلسفية في القرن العشرين.

صحيح أن الفلسفة الحديثة هي، على العموم، فلسفة في المعرفة، بالمقارنة مع الفلسفة القديمة، فلسفة اليونان وفلسفة القرون الوسطى، التي كانت، في معظمها، فلسفة في الوجود، ولكن هناك فرق كبير بين فلسفة المعرفة كما دشنها ديكارت وحدّد موضوعها وشيّد صرحها كانت، وبين الدراسات الابستيمولوجية المعاصرة التي نشطت عقب الثورة العلمية الحديثة التي شهدها العقد الأول من هذا القرن، فرق كبير يعكس ذلك البون الشاسع بين الفيزياء الكلاسيكية التي دشّنها غاليليو وشيّد صرحها نيوتن وبين الرياضيات كما نظّمها اليونان وأثراها ديكارت وليبنز من جهة، وبين الفيزياء الحديثة التي أرسى دعائمها بلانك وانيشتين وغيرهما من علماء الفيزياء الذرية، وبين الرياضيات المعاصرة والرياضيات الحديثة، من جهة أخرى.

ونحن هنا في الوطن العربي ما زلنا متخلفين عن ركب الفكر العلمي، تقنية وتفكيراً، وما زالت الدراسات الفلسفية عندنا منشغلة بالآراء الميتافيزيقية أكثر من اهتمامها بقضايا العلم والمعرفة والتكنولوجيا، الشيء الذي انعكست آثاره على جامعاتنا ومناخنا الثقافي للعام. هذا في وقت نحن فيه أحوج ما نكون إلى «تحديث العقل العربي» و «تجديد النهضة العربية».

وغني عن البيان القول بأن وسيلتنا إلى ذلك يجب أن تكون مزدوجة متكاملة: الدفع بمدارسنا وجامعاتنا إلى مسايرة تطور الفكر العلمي وملاحقة خطاه والمساهمة في إغنائه وإثرائه

من جهة، والعمل على نشر المعرفة العلمية على أوسع نطاق من جهة ثانية. إن توجيه اهتمام الطلبة والمثقفين إلى «الفلسفات العلمية» التي تعمل جاهدة على ملاحقة الفكر العلمي في تطوره وتقدمه تحلّل مناهجه وتدرس نتائجه محاولة استخلاص ما يمكن استخلاصه منه من رؤى فلسفية جديدة وآفاق فكرية رحبة، ضرورة أكيدة، إذا ما نحن أردنا الارتفاع بطلابنا ومثقفينا إلى المستوى الذي يمكّنهم من أن يعيشوا عصرهم، عصر العلم والتكنولوجيا، بكل ما يطرحه من مشاكل نظرية وعملية، ويساهموا في تشييد حضارة عربية في مستوى حضارة العصر علماً وعملاً.

أضف إلى ذلك ان نشر المعرفة العلمية وأساليب التفكير العلمي على أوسع نطاق، وفي المعاهد والكليات النظرية بكيفية خاصة، هو الوسيلة الوحيدة التي تمكّن من إقامة جسور بين المهتمين بالدراسات النظرية، والمختصين بالأبحاث التطبيقية، الشيء الذي يسهّل التواصل ويساعد على التفاهم ويحقق الحد الأدنى من وحدة التفكير والرؤية، بين مختلف قطاعات المثقفين، مختصين كانوا أو غير مختصين.

عاملان، إذن، دفعا بنا إلى المغامرة في ارتياد هذا النوع «الجديد» من الدراسات والأبحاث الفلسفية العلمية، خلال عملنا الجامعي في كلية الآداب بجامعة محمد الخامس بالرباط، وهما نفس العاملين اللذين دفعا بنا إلى المجازفة بطبع هذه الدروس والمحاضرات، التي تشمر، قبل غيرنا، بما يكتنفها من نقص وما قد يعتريها من غموض أو التباس.

لقد وجدنا في ما لمسناه من إقبال الطلاب على هذا اللون من الدراسات، ما شجّعنا على المضي في المغامرة أشواطاً بعيدة، فنقلناها من مستوى الليسانس إلى مستوى الدراسات العليا، حيث حرصنا على إدراج الايبستيمولوجيا بين التخصصات التي يتيحها دبلوم الدراسات العليا لطلاب الفلسفة بالمغرب. ولا شك أن طلبتنا الذين يعدون رسائلهم الجامعية في هذا الميدان سيغنون بأبحاثهم ومجهوداتهم هذه الطريق التي اقتحمناها، زادنا في ذلك الاقتناع بضرورة الاختيار وصوابه، والصبر في اجتياز عقباته وتحمل عواقبه.

واليوم، إذ نقبل على طبع هذه الدروس والمحاضرات، بعد تنقيحها والتنسيق بينها، لنضع بين أيدي طلابنا مرجعاً متواضعاً ـ تفتقد المكتبة العربية إلى كثير من أمثاله ـ نطمح أن يجد فيه المثقف العربي ما يفتح أمامه نافذة على الفكر العلمي المعاصر، وعلى جوانب من نظرية المعرفة العلمية، فنحقق بذلك هدفين: تشجيع الطلاب على ارتياد هذا النوع من الدراسات والأبحاث، والمساهمة في نشر المعرفة العلمية وأساليب التفكير العلمي في أوساطنا الثقافية.

* * *

إن الكتاب الذي نضعه اليوم بين أيدي هؤلاء وأولئك هو مجرد «مدخل». ورغبة منا في أن يكون هذا «المدخل» في متناول الجميع حرصنا على التزام التبسيط بقدر الامكان، آملين أن لا يتسبب ذلك في ما ينال من جوهر المسائل أو يزعج المختصين. لقد سلكنا في عرض مسائل هذا الكتاب طريقة مزدوجة: التأريخ لنشوء وتطور هذه المسائل، وتحليلها

تحليلاً يبرز قيمتها الايبستيمولوجية ودلالتها الفلسفية. وهكذا مزجنا بين تحليل المنهاج العلمي وتتبع تطور الأفكار والنظريات، مكثرين ما أمكن من الأمثلة التي حرصنا على استقائها من التاريخ نفسه، تاريخ الكشوف العلمية وتاريخ تطور التفكير العلمي. ولم يفتنا أن نبرز، من حين إلى آخر ما تكتسيه القضية المطروحة من صبغة ايديولوجية تتجاوز حدود العلم إلى مجالات الاستغلال الايديولوجي للعلم.

نعم، لقد التزمنا عرض المسائل دون التقيد بوجهة نظر معينة، بل لقد آثرنا عرض وجهات النظر المختلفة، مبرزين «تاريخيتها» ونقاط قوتها أو ضعفها على ضوء تطور التفكير العلمي ذاته. فلا حاجة بالقارىء، إذن، إلى اضاعة الوقت في محاولة البحث عن وجهة نظر المؤلف. فلم يكن المؤلف يطمح إلى بناء وجهة نظر خاصة به، في موضوع هو من اختصاص العلماء المختصين، بل كل ما كان يطمح إليه هو أن يتمكّن من عرض واضح، قليل الأخطاء، لهذا اللون من الدراسات والأبحاث. ومع ذلك، فإن المؤلف مبكر متنكراً لحقيقة يؤمن بها، إذا ما ادعى أنه عرض مسائل هذا الكتاب عرضاً «بريئاً محايداً»، علماً منه بأن أية كتابة مهما كانت، لا بد أن تكون منحازة بوعي من صاحبها أو بغير وعي منه. هناك إذن رؤية موجهة، سواء في العرض أو التحليل أو في النقد وإبداء الرأي، رؤية تستمد مقوماتها ومؤشراتها من الفكر التقدمي المعاصر، الفكر الذي يكرّس العلم والمعرفة العلمية لخدمة الانسان، لتطوير وعيه، وتصحيح رؤاه.

* * *

والكتاب يشتمل على جزأين:

عالجنا في الجزء الأول مفهوم الايبستيمولوجيا وعلاقاتها بالدراسات المعرفية الأخرى، القديمة والحديثة، متتبعين تطور نظرة الفلاسفة والعلماء إلى مشكل المعرفة، مركزين على الاتجاهات المعاصرة، سالكين المنهج التاريخي النقدي. وبعد هذا المدخل العام، خصصنا القسم الأول للفكر الرياضي وتطوره منذ اليونان إلى اليوم، مركزين على القضايا التي تناولها فلسفة الرياضيات، رابطين بين هذه وتطور الفكر العقلاني، مخصصين الفصل الأخير منه لإبراز المعالم الرئيسية للعقلانية المعاصرة، ثم أردفنا ذلك كله بمجموعة من النصوص تتناول أهم القضايا المطروحة خلال العرض بأقلام كبار الرياضيين المختصين.

أما الجزء الثاني فقد خصصناه للمنهاج التجريبي وتطور الفكر العلمي في ميدان الفيزياء، منذ بيكون وغاليلو إلى الفيزياء الذرية، مركزين على الجانب المعرفي، غير مغفلين الإشارة إلى بعض الكشوف العلمية التي تلقي الضوء على القضايا الايبستيمولوجية المطروحة وتجعل القارىء غير المختص يدرك منابعها وإطارها العلمي والتاريخي. وأخيراً ختمنا هذا الجزء، كما فعلنا في الجزء الأول، بنصوص تتناول أهم القضايا الايبستيمولوجية الحديثة والمعاصرة في موضوع الفيزياء، بأقلام كبار العلماء المختصين.

* * *

وبعد، فإن الكتاب ـ كما قلنا ـ مجرد مدخل. هدفه متواضع، وهو تمكين الطالب والمثقف غير المختص من الإطلالة على الفكر العلمي الحديث والمعاصر. فإن طلابنا بكلية الآداب بالرباط، الذين شجعنا اهتمامهم بهذا اللون من الدراسات على المجازفة بطبع هذه الدروس والمحاضرات، تهدي هذا الكتاب، راجين أن يجد فيه عامة المثقفين ما يثير اهتمامهم ويستفز فضولهم. والله ولي التوفيق.

الدكتور محمد عابد الجابري
الدار البيضاء، أيلول/ سبتمبر ١٩٧٦

الجزء الأول

تطور الفكر الرياضي والعقلانية المعاصرة

دراسات ونصوص في الابستيمولوجيا المعاصرة



مدخل عام:
الايبستيمولوجيا
وعلاقاتها بالدراسات المعرفية الأخرى

أولاً: ملاحظات أولية

لعل أول ما يواجهنا من مشاكل ايبستيمولوجية عندما نقدم على دراسة هذا اللون الجديد من الدراسات والأبحاث التي تتخذ المعرفة موضوعاً لها، هو مشكل الايبستيمولوجيا ذاتها: أعني تعريفها، وتحديد ميدان البحث الخاص بها، وبيان غايتها، والكشف عن طبيعة العلاقات القائمة بينها وبين العلوم القريبة منها، أو المتداخلة معها.

ذلك لأن هذا «العلم»، أو على الأصح هذا النوع من الدراسات والأبحاث، قديم جداً وحديث جداً، في آن واحد. ومعروف لدى الجميع أن محاولة الفصل في الشيء الواحد بين ما هو قديم وما هو جديد، محاولة صعبة شاقة، خصوصاً عندما يتعلق الأمر بميدان المعرفة البشرية التي تتداخل أجزاؤها وتتشابك فروعها، والتي تشكل، على الرغم مما يحدث فيها من قفزات وثورات، سلسلة متواصلة الحلقات، يصعب أحياناً، إن لم يكن يستحيل، فصل بعضها عن بعض، أو مجموعة منها عن السلسلة كلها، فصلاً نهائياً تاماً.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى، فإن البحث في مثل هذه القضايا (تعريف العلم وبيان موضوعه ومناهجه وغايته، وتحديد علاقاته بغيره من العلوم... الخ)، هو من جملة الأبحاث التي تنتمي بشكل أو بآخر إلى عالم الفلسفة. ومعروف كذلك أن عزل «شيء» ما عن الفلسفة، لاتخاذه ميداناً لبحث مستقل، هو من أصعب الأمور، خصوصاً إذا كان موضوع هذا «الشيء» ينتمي إلى عالم الفكر والنظر، لا إلى عالم المادة والواقع. ذلك لأن من خصائص الفلسفة أنها تظل دوماً تلاحق موضوعاتها، وتطاردها في بيوتاتها الجديدة، فتتلون بلونها، وتتطور بتطورها، وتغتني بتقدم البحث فيها. إن هذا، بالضبط، هو سر بقاء الفلسفة حية على الدوام، متجددة باستمرار.

وصعوبة ثالثة لا بد من التنبيه إليها هنا، وهي أن الدراسات الايبستيمولوجية تتناول،

من جملة ما تتناوله بالتحليل والنقد، نتائج العلوم، الطبيعية منها والانسانية، أنها من هذه الناحية نوع من «فلسفة العلوم». ولذلك فإنه من المنتظر - بل إن هذا هو الواقع - أن تصطبغ التأويلات الفلسفية للكشوف العلمية، التي تتم في هذا الميدان أو ذلك، بالصبغة الايديولوجية، الشيء الذي يجعل من الصعب جداً، تحديد إطار هذا «العلم» وبيان غاياته وحدود آفاقه، بكيفية موضوعية دقيقة.

أضف إلى ذلك صعوبة أخرى خاصة، وهي أن مصطلح «ابيستيمولوجيا»، يختلف مدلوله، سعةً وضيقاً، من لغة إلى أخرى. وعدم اتفاق اللغات الحية، لغات العلوم العصرية، على مدلوله وحدود موضوعه، يعني أن مجال البحث الخاص بهذا اللون الجديد من الدراسات التي تتخذ المعرفة موضوعاً لها، ما زال غير واضح المعالم بالشكل الكافي، وأن طبيعة القضايا التي يجب أن يتناولها ما زالت موضوع خلاف، مما يفسح المجال واسعاً للخلط وعدم الدقة في استعمال هذا المصطلح الجديد، القديم.

غير أن جدّة هذا المصطلح، أو على الأقل شيوعه الواسع في الأوساط العلمية والفلسفية المعاصرة، دليل على أن هناك فعلاً مشاكل جديدة، أو نظرات جديدة إلى مشاكل قديمة، تدعو الحاجة إلى جعلها موضوعاً لعلم جديد، حتى يتسنّى حصرها وتوضيح إطارها، ودراستها دراسة منظمة دقيقة.

فما هو هذا «العلم» إذن؟ وكيف نميّزه عن غيره من العلوم والدراسات المتداخلة معه، أو المتاخمة له؟

ثانياً: تعريف

الابيستيمولوجيا Epistémologie مصطلح جديد، كما قلنا، صيغ من كلمتين يونانيتين Epistémé ومعناها: علم، وLogos ومن معانيها: علم، نقد، نظرية، دراسة... فالابيستيمولوجيا، إذن، من حيث الاشتقاق اللغوي هي «علم العلوم» أو «الدراسة النقدية للعلوم»... وهذا ما لا يختلف كثيراً عن معناها الاصطلاحي.

يعرّف لالاند Lalande في معجمه الفلسفي، الابيستيمولوجيا بأنها: «فلسفة العلوم»، ثم يضيف: «ولكن بمعنى أكثر خصوصية. فهي ليست، بالضبط، دراسة المناهج العلمية، هذه الدراسة التي هي موضوع الميتودولوجيا والتي تشكّل جزءاً من المنطق، وليست كذلك تركيباً أو استباقاً للقوانين العلمية (على غرار ما يفعل المذهب الوضعي أو المذهب التطوري)، **وإنما هي أساساً الدراسة النقدية لمبادىء مختلف العلوم، ولفروضها ونتائجها، بقصد تحديد أصلها المنطقي (لا السيكولوجي) وبيان قيمتها وحصيلتها الموضوعية**».

واضح أن لالاند يحرص هنا على التمييز بين الابيستيمولوجيا من جهة، وبين الميتودولوجيا وفلسفة العلوم، بمعناها العام، من جهة أخرى. وواضح كذلك أنه لم يأت على

ذكر نظرية المعرفة Gnoséologie أو Théorie de la connaissance لأنها تختلف في نظره، وفي نظر الفرنسيين عامة، عن الايبستيمولوجيا بمعناها «الدقيق الخاص».

إن حرص لالاند على التمييز بين هذه الأنواع من الدراسات والأبحاث التي تتناول، بشكل أو بآخر، المعرفة البشرية، دليل على أن هناك احتمالاً قوياً للخلط بينها، نظراً لتداخلها أو متاخمة بعضها لبعض. إن هذا الاحتمال صحيح تماماً... وصحيح كذلك أن لالاند قد وقع هو نفسه في خلط من هذا النوع، كان يجيزه عصره، وذلك عندما جعل الميتودولوجيا Méthodologie جزءاً من المنطق، مسايرة منه للتقليد المدرسي الفرنسي الذي كان سائداً إلى عهد قريب، والذي كان المنطق يصنف بموجبه إلى صنفين: المنطق العام؛ والمقصود منه، المنطق الصوري الذي لا يهتم بمادة المعرفة، بل بصورتها فقط، والمنطق الخاص أو المنطق التطبيقي؛ الذي يدرس المناهج الخاصة بكل علم. كان هذا متعارفاً عليه في عهد لالاند[1]، أما في الوقت الحاضر فقد استقلت الميتودولوجيا بنفسها استقلالاً تاماً، لتشكل علماً خاصاً هو «علم المناهج»، وأصبح المنطق منطقاً واحداً، هو المنطق الصوري في شكله الحديث.

وفي ما عدا ذلك، فإنه ما زال من الصعب جداً إقامة فواصل أو حدود نهائية بين الايبستيمولوجيا ومختلف الدراسات والأبحاث المشابهة لها، كتلك التي ذكرها لالاند قبل. فالغالب أن الايبستيمولوجيا تتناول مسائل هي بالأصالة من ميدان الميتودولوجيا أو المنطق أو فلسفة العلوم أو نظرية المعرفة، مما حدا بأحد الباحثين إلى القول: «سواء سميناه منطقاً خاصاً، أو منطقاً كبيراً، أو نظرية اليقين، أو نظرية المعرفة، أو ابيستيمولوجيا، أو كنوزيولوجيا Gnoseologie أو علم المعايير Critériologie، أو النقد، فإن البحث الذي نقوم به، كان هدفه دوماً، بشكل أو بآخر، هو بيان شروط المعرفة البشرية وقيمتها وحدودها»[2]. ومثل هذا، تقريباً، يفعل الانكليز والطليان، إذ يجمعون تحت مصطلح «ابيستيمولوجي» تلك الدراسة النقدية التي أشار إليها لالاند، ونظرية المعرفة والميتودولوجيا. أما الألمان فهم يميزون في لغتهم بين نظرية المعرفة وبين الايبستيمولوجيا، وإن كانوا يعنون بهذا المصطلح الأخير، فلسفة العلوم جميعها[3].

ومهما يكن، فإن كلا الموقفين ـ التمييز بين هذه الأنواع من الدراسات التي تهتم بالمعرفة، أو عدم التمييز بينها ـ يمكن تبريره:

إن التمييز بين موضوعات البحث الخاصة بكل علم ضرورة منهجية: فالعلوم إنما يختلف بعضها عن بعض باختلاف موضوعاتها، أو على الأقل، باختلاف مستويات التحليل

---

(١) Robert Blanché, *L'Epistémologie*, que sais-je? no. 1475 (Paris: Presses universitaires de France, 1972), p. 21.

(٢) Van Riet, *Epistémologie thomiste* 637.

(٣) A. Varieux-Reymont, *Introduction à l'épistémologie*, coll. SUP (Paris: Presses universitaires de France, 1972), pp. 7-8.

الذي نقوم به، عندما يكون الموضوع واحداً. فلكي تكون الايبستيمولوجيا علماً مستقلاً لا بد لها من موضوع واحد ومحدد.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى، يمكن تبرير مشروعية عدم التمييز بين الايبستيمولوجيا والميتودولوجيا ونظرية المعرفة وفلسفة العلوم، لكونها جميعاً متداخلة متشابكة، إلى الحد الذي يصعب معه تقرير ما إذا كانت قضية ما من قضايا المعرفة تخص الواحدة منها دون الباقي. فإذا كانت الايبستيمولوجيا هي، كما قلنا، الدراسة النقدية، لمبادىء العلوم وفروضها ونتائجها بقصد تحديد قيمتها ونفعها، فإنه من الصعب القيام مثلاً، بنقد نتائج العلوم دون البدء أولاً بفحص المنهاج الذي اتبع للحصول عليها. وفحص المناهج هو من اختصاص الميتودولوجيا بالذات، كما أن نقد النتائج، وبالتالي تأويلها، هو أيضاً من اختصاص فلسفة العلوم، وهو شيء يمسّ كذلك، بشكل أو بآخر، نظرية المعرفة، خصوصاً عندما ننظر إلى هذه النتائج من زاوية مدى تعبيرها، تعبيراً صادقاً أو غير صادق، كاملاً أو غير كامل، عن الحقيقة الموضوعية.

ومع ذلك فإن الايبستيمولوجيا أخذت تفرض نفسها، في العصر الحاضر، كـ «علم» قائم الذات، يختلف من عدة وجوه، عن كل واحدة من هذه الدراسات والأبحاث التي أشرنا إليها. ولذلك كان من المفيد، في مدخل كهذا، البدء بإبراز أوجه الاختلاف هذه، حتى نتمكن من أن نكوّن لأنفسنا صورة واضحة، بقدر الإمكان، عن هذا اللون الجديد من الدراسات والأبحاث، علماً بأن الصورة الواضحة والكاملة عن علم من العلوم لا يمكن الحصول عليها إلا بعد الانتهاء من استعراض جميع مسائله، أو على الأقل، بعد التقدم أشواطاً بعيدة في دراسته.

ثالثاً: الايبستيمولوجيا ونظرية المعرفة

درجت المؤلفات الفلسفية التقليدية على تصنيف موضوعات الفلسفة إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

١ ـ **الأنطولوجيا** **Ontologie** وتعني كلاسيكياً، البحث في الوجود المطلق، الوجود العام المتحرر من كل تحديد أو تعيين. وبعبارة أرسطو «البحث في الوجود بما هو موجود»: فإذا كانت الطبيعيات تدرس الوجود باعتباره أجساماً متغيرة، والرياضيات تتناوله من حيث هو كم ومقدار، فإن الانطولوجيا تختص بالبحث في الوجود على العموم، فتحاول بيان طبيعته، والكشف عن مبادئه الأولى وعلله القصوى وخصائصه العامة. (مثال ذلك: ما أصل الكون؟ هل هو حادث أم قديم؟ ما حقيقة النفس؟ هل هي فانية أم خالدة؟ وما علاقتها بالبدن؟ وهل الانسان مخيّر أو مسيّر. . . إلى غير ذلك من المسائل الميتافيزيقية المعروفة).

٢ ـ نظرية المعرفة **Gnoséologie** وتختص بالبحث في امكانية قيام معرفة ما عن الوجود

بمختلف أشكاله ومظاهره. وإذا كانت المعرفة ممكنة، فما أدواتها، وما حدودها، وما قيمتها؟ من البحث في هذه القضايا وأمثالها، تفرّعت المذاهب الفلسفية المعروفة. وبغض النظر عن مذهب الشك الذي لا يمكن الدفاع عنه، رغم حجج الشُكّاك القدامى والمحدثين، فإن المذاهب الرئيسية في مشكلة المعرفة هي التالية: المذهب العقلي الذي يرى أن العقل بما ركب فيه من استعدادات أولية أو مبادىء قبلية هو وسيلتنا الوحيدة للمعرفة اليقينية. المذهب الحسي أو التجريبي الذي يرجع المعرفة كلها إلى ما تمدّنا به الحواس، باعتبار أن العقل «صفحة بيضاء» ليس فيه إلاّ ما تنقله إليه حواسنا، والمذهب الحدسي الذي يذهب إلى أن الطريق الصحيح للمعرفة، الجديرة بهذا الإسم، هو الحدس (مع الاختلاف حول مفهوم الحدس ذاته). أما بخصوص قيمة المعرفة التي يمكن للإنسان الحصول عليها بالحس أو بالعقل أو بهما معاً، فيمكن التميز بين مذهبين رئيسيين: النزعة الوثوقية ـ الدوغمائية ـ التي تقول بإمكانية توصل الإنسان إلى معارف مطلقة، يقينية يقيناً مطلقاً، والنزعة النقدية ـ أو النسبية ـ التي ترى أن المعرفة البشرية محدودة بالمعطيات الحسية، وبالتالي فإنها، على الرغم من أهمية دور العقل فيها، لن تكون إلاّ نسبية (النزعة الكانتية بالخصوص).

٣ ـ والمبحث الأخير، من المباحث الكلاسيكية للفلسفة، هو الاكسيولوجيا Axiologie، أي البحث في القيم: قيم الحق والخير والجمال، وهي الموضوعات التي يتناولها، على التوالي علم المنطق، وعلم الأخلاق، وعلم الجمال، بالمعنى التقليدي لهذه «العلوم» التي توصف بأنها علوم معيارية لكونها تهتم بما ينبغي أن يكون، وذلك في مقابل العلوم الوضعية التي يقتصر اهتمامها في ما هو كائن.

يتضح من ذلك، إذن، أن هناك وشائج من القربى متينة بين الايبستيمولوجيا والفلسفة بكيفية عامة، وبينها وبين نظرية المعرفة بكيفية خاصة. وإذا كان كثير من الباحثين المعاصرين يرون ضرورة التميز بينهما استناداً إلى أن الايبستيمولوجيا تهتم بالمعرفة العلمية وحدها، في حين تتناول نظرية المعرفة بشكلها التقليدي المعروف، أنواع المعارف كلها، فإن مثل هذا الفصل لا يخلو من الغلو والاصطناع.

نعم من الممكن دوماً التميز بين المعرفة العلمية التي تعتمد القياس والتجارب وتستعين بالآلات الدقيقة التي تكشف للإنسان عمّا تعجز عن بلوغه حواسه، والتي تخضع للنقد الصارم والمراجعة المتواصلة، وبين المعرفة العامية الحسية التي بإمكان مطلق الناس الحصول عليها بواسطة حواسهم وعقولهم وخبراتهم اليومية. كما أنه يمكن التميز بين هذين النوعين من المعرفة وبين نوع ثالث يعبر عنه عادة بـ المعرفة القلبية (أو الحدسية، أو الصوفية) وهو نوع تمسّك به كثيرون، باعتباره النوع الأرقى، والطريق المثل لبلوغ الحقيقة.

وبغض النظر عن هذا النوع الثالث الذي يتجاوز الإدراك الحسي والنظر العقلي والبحث العلمي ـ وقد يستخف بهذه الطرق ويطعن فيها جميعاً ـ والذي هو، على كل حال، ليس في متناول جميع الناس، يمكن القول إن الفصل بين «المعرفة العامية» و «المعرفة العلمية» لا يقوم على أساس متين، خصوصاً وهو يستند في الغالب على اعتبار «المعرفة العامية» معرفة

أولى دنيا، و «المعرفة العلمية» معرفة ثانية عليا. ذلك لأن حواسنا هي وسيلتنا الأولى والأخيرة لاكتساب هذين النوعين من المعرفة: وسيلتنا الأولى لمعرفة العالم الخارجي والدخول معه في علاقات... ووسيلتنا الأخيرة لتحصيل المعرفة العلمية ذاتها. فإذا كانت هذه الأخيرة تمتاز بكونها تعتمد القياس والآلات، فإن نتائج القياس وما تشير إليه الآلات هو جزء من هذا العالم الخارجي نفسه، جزء من المعطيات الواقعية التي لا سبيل لنا إلى معرفتها غير الحواس. إن الآلات تحتاج، مهما كانت دقتها، إلى شخص يقرأ أو يسمع أو يلمس ما تسجله أو تشير إليه. وبالتالي لا بد من الحواس التي تنقل رموز الآلات إلى الدماغ، لتتحول بعد ذلك إلى معرفة علمية.

هنا، إذن، وفي إطار المعرفة العلمية ذاتها، يمكن أن تثار، بصورة أو بأخرى، تلك المشاكل التي شغلت الفلاسفة منذ اليونان إلى العصر الحديث، والمتعلقة بقيمة ما تمدنا به الحواس وما يدلنا عليه العقل، وعلاقة العقل بالحسي، بل علاقة الذات بالموضوع، ومدى موضوعية العالم الخارجي، إلى غير ذلك من المشاكل الفلسفية التي كانت، وما تزال، ميداناً خصباً للنظر الفلسفي. بل إن بعض هذه المسائل قد أثيرت في ميدان العلم ذاته ـ ميدان الميكروفيزياء ـ حينما لاحظ العلماء المختصون في الفيزياء الذرية أن طريقة القياس وأدواته تتدخل تدخلاً لا يمكن التخلص منه، وبالتالي لا يمكن التغاضي عن تأثيره، في النتائج المحصل عليها، مما يجعلها احتمالية، لا حتمية، يختلط فيها الذاتي بالموضوعي إلى حد كبير. وتلك إحدى القضايا الرئيسية التي تهتم بها «نظرية المعرفة» الحديثة، والتي عجلت بقيام الايبستيمولوجيا كعلم مستقل، كما سنرى ذلك بعد.

هناك إذن اتصال وانفصال بين نظرية المعرفة بمعناها الفلسفي العام، وبين الايبستيمولوجيا بمعناها «الدقيق الخاص». وإذا كان الاتصال هو المظهر البارز على صعيد التحليل الفلسفي المجرد، فإن الواقع التاريخي واقع تطور العلوم، قد فرض نوعاً من الانفصال بينهما، نوعاً من **القطيعة الايبستيمولوجية**. وكما سنرى فيما بعد، فإن من نتائج هذه **القطيعة**، التي تبلورت مع بداية هذا القرن، أن أصبحت الايبستيمولوجيا من اختصاص العلماء، بينما بقيت نظرية المعرفة بمشاكلها التقليدية من مشاغل الفلاسفة ودارسي الفلسفة. قضايا الأولى تطرح نفسها على العالم المختص في ميدان اختصاصه وساعة ممارسته لأبحاثه، أما مسائل الثانية فقد كانت وما تزال عبارة عن قضايا فكرية يطرحها الفيلسوف بمنهجه التأملي أو بطريقته التحليلية.

رابعاً: الايبستيمولوجيا والميتودولوجيا

إذا كانت نظرية المعرفة أعم من الايبستيمولوجيا، فإن هذه الأخيرة، هي بدورها أعم و «أعمق» من الميتودولوجيا.

والميتودولوجيا (من Méthodos اليونانية، ومعناها الطريق إلى... المنهاج المؤدي

إلى. . .) **هي علم المناهج**، والمقصود هنا: **مناهج العلوم**. والمنهاج العلمي هو جملة العمليات العقلية، والخطوات العملية، التي يقوم بها العالم، من بداية بحثه حتى نهايته، من أجل الكشف عن الحقيقة والبرهنة عليها.

وبما أن العلوم تتمايز بموضوعاتها، فهي تختلف كذلك بمناهجها. ولذلك لا يمكن الحديث عن منهاج عام للعلوم، للكشف عن الحقيقة في كل ميدان، بل فقط عن مناهج علمية. إن لكل علم منهاجه الخاص، تفرضه طبيعة موضوعه.

هذه ملاحظة أولى، والملاحظة الثانية هي أن **الميتودولوجيا لاحقة للعمل العلمي وليست سابقة عليه**. بمعنى أن المختص في علم المناهج - فيلسوفاً كان أو عالماً - لا يرسم للباحث الطريق التي يجب أن يسلكها، بل إنه بالعكس من ذلك، يتعقبه ويلاحق خطواته الفكرية والعملية: يصفها ويحلّلها ويصنّفها، وقد يناقش وينتقد، كل ذلك من أجل صياغتها صياغة نظرية منطقية قد تفيد العالم في بحثه، وتجعله أكثر وعياً لطبيعة عمله. وكما يقول «كلود برنار»: فإن العمليات المنهجية وطرق البحث العلمي «لا تتعلم إلاّ في المختبرات، حينما يكون العالم أمام مشاكل الطبيعة وجهاً لوجه، يصارعها ويشتبك معها. فإلى هنا يجب توجيه الباحث المبتدىء أولاً. أما البحث الوثائقي L'Erudition والنقد العلمي فهما من شأن الرجال الناضجين، ولا يمكن أن يثمرا إلاّ بعد البدء في التدريب على العلم وتحصيله في معبده الحقيقي، أي في المختبر العلمي». ثم يضيف قائلاً: «إن العمليات الفكرية الاستدلالية لا بد أن تتنوع لدى المجرّب، إلى غير نهاية، نظراً لتنوّع العلوم، ولتفاوت الحالات التي يعالجها - العلم - صعوبة وتعقيداً. إن العلماء، وبالذات المختصون منهم في العلوم المختلفة - هم وحدهم المؤهلون للخوض في مثل هذه المسائل»[٤].

وهكذا، فإذا كانت الابستيمولوجيا تتناول بالدرس والنقد مبادىء العلوم وفروضها ونتائجها لتحديد قيمتها وحصيلتها الموضوعية - كما يقول لالاند - فإن الميتودولوجيا تقتصر، في الغالب على دراسة المناهج العلمية، دراسة وصفية تحليلية، لبيان مراحل عملية الكشف العلمي، وطبيعة العلاقة التي تقوم بين الفكر والواقع خلال هذه العملية. هناك إذن فرق بينهما في مستوى التحليل: إن مستوى التحليل في الميتودولوجيا، علاوة على كونها تتناول كل علم على حدة، مقصور في الغالب على الدراسة الوصفية، في حين أن الابستيمولوجيا، فضلاً عن طموحها إلى أن تكون نظرية عامة في العلوم، ترتفع إلى مستوى أعلى من التحليل، **مستوى البحث النقدي الرامي إلى استخلاص الفلسفة التي ينطوي عليها، ضمنياً، التفكير العلمي**. إن من جملة المسائل التي تتناولها بالنقد، المناهج العلمية ذاتها، تبحث عن ثغراتها وتعمل على معالجتها. وكما يقول «جان بياجي» بحق، فإن «التفكير الابستيمولوجي يولد دائماً بسبب «أزمات» هذا العلم أو ذاك، أزمات تنشأ بسبب خطأ في

---

(٤) Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (Paris: Libraire delagrave, 1920), p. 357.

المناهج السابقة وتعالج باكتشاف مناهج جديدة»[٥]. ومن هنا يمكن القول: «إن الايستيمولوجيا هي ميتودولوجيا من الدرجة الثانية».

ولكن ماحدود هذه «الدرجة الثانية»؟ ألا يُفهم من هذا أن الايستيمولوجيا وفلسفة العلوم اسمان لمسمى واحد؟

خامساً: الايستيمولوجيا وفلسفة العلوم

«فلسفة العلوم» مصطلح غامض عائم: فكل تفكير في العلم، أو في أي جانب من جوانبه، في مبادئه أو فروضه أو قوانينه، في نتائجه الفلسفية أو قيمته المنطقية والأخلاقية، هو، بشكل أو بآخر، «فلسفة للعلم». وحسب رأي مؤلفين أمريكيين معاصرين، يمكن التفلسف في العلم، من وجوه أربعة:

- دراسة علاقات العلم بكل من العالم والمجتمع، أي العلم من حيث هو ظاهرة اجتماعية.

- محاولة وضع العلم في المكان الخاص به ضمن مجموع القيم الانسانية.

- الرغبة في تشييد فلسفة للطبيعة انطلاقاً من نتائج العلم.

- التحليل المنطقي للغة العلمية[٦].

واضح أننا هنا أمام ميادين واسعة ومختلفة يمكن أن تتزاحم فيها وجهات النظر المتباينة، الاجتماعية منها والأخلاقية والفلسفية والمنطقية والعلمية... وإذا نحن تركنا جانباً، مسألة علاقة العلم بصاحبه وبالمجتمع ومسألة وضعه في إطار مجموع القيم الانسانية، وقصرنا اهتمامنا على «الوجهين» الثالث والرابع، فإننا سنجد أنفسنا أمام ذلك الصراع المحتدم في عالم الفكر المعاصر، وداخل أروقة العلم نفسه، بين وجهات النظر الوضعية (القديمة منها والحديثة)، الوجه الرابع، ووجهات النظر التطورية على اختلاف أشكالها وميادينها، الوجه الثالث. فلنبدأ إذن، بالتعرّف، بشكل موجز، على وجهات النظر هذه.

---

(٥) *Logique et connaissance*, sous la direction de Jean Piaget (Paris: Gallimard, 1969), p. 78.

(٦) H. Feigl et M. Brodbek, cité par: Blanché, *L'Epistémologie*, p. 16.

انظر أيضاً: زكي نجيب محمود، المنطق الوضعي، ٢ ج، ط ٤ (القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٦٦)، ج ٢، ص ٣٨.

١ ـ وجهة النظر الوضعية

أ ـ وضعية أوغست كونت

يرتبط، اسم «الوضعية» Positivisme بأوغست كونت (١٧٩٨ ـ ١٨٥٧). لقد عاش هذا المفكر الفرنسي في ظل الأوضاع التي أعقبت الثورة الفرنسية، فراعه ما أصاب المجتمع الفرنسي آنذاك من فوضى وتمزّق، وعزا ذلك إلى تنافر الأفكار. وتساءل: كيف يمكن تحقيق الانسجام في ميدان الفكر، هذا الانسجام الذي يتوقف عليه، في نظره، التخفيف من حدة تنازع العواطف وتنافر الأعمال.

لقد لاحظ أوغست كونت أن الاختلاف في ميدان الفكر والنظر إنما يقوم في المجالات التي يبتعد فيها الانسان بتفكيره، عن الواقع، حيث يتناول بالبحث والمناقشة أموراً لا سبيل إلى معرفتها والكشف عن كنهها، كالبحث في جواهر الأشياء وأسبابها الأولى وغاياتها القصوى، والذي اكتسى أول الأمر طابعاً لاهوتياً وهمياً (الحالة اللاهوتية)، ثم طابعاً ميتافيزيقياً تجريدياً (الحالة الميتافيزيقية). أما حينما يتصرف الفكر البشري عن هذه المواضيع الفارغة ويكفّ عن التأملات الميتافيزيقية، ويقصر اهتمامه على ملاحظة الظواهر والتركيز على العلاقات التي تربط بينها، فإنه يتوصّل إلى القوانين التي تتحكم في الظواهر والوقائع، وتجمع شتاتها وتجعلها في متناول الانسان فيستفيد منها فكراً وعملاً. ففي هذه الحالة، التي تمثل أرقى مراحل تطور الفكر البشري، (الحالة الوضعية، أو حالة الحقائق الواقعية) يحصل الاتفاق ويزول الاختلاف. وهذا ما تشهد به العلوم الوضعية من رياضيات وطبيعيات، حيث يتفق الباحثون، ويتعاونون، ويتقدمون. ولذلك كان من الضروري، لإنقاذ الفكر البشري من التيه الذي بقي فيه عهوداً طويلة، النظر في هذه العلوم للتعرّف على مناهجها، وحصر أنواعها واستخلاص الدروس من تقدمها، ودفع هذا التقدم نفسه خطوات أخرى إلى الأمام.

لقد اهتم أوغست كونت بتصنيف العلوم اهتماماً بالغاً، فرتّبها حسب درجتها من التعميم والتجريد نزولاً، ومقدار تعقيدها وتشابكها صعوداً، إلى ستة أصناف: الرياضيات، الفلك، الفيزياء، الكيمياء، البيولوجيا، السوسيولوجيا (أو الفيزياء الاجتماعية). أما بقية العلوم فهي، في نظره، إما مجرد تطبيق لعلم آخر، كالطب الذي هو تطبيق للفيزيولوجيا، أو مجرد علوم في الظاهرة، لا في الحقيقة والواقع، كالنحو واللغة... أما علم النفس فليس علماً مستقلاً، لأن موضوعه تتقاسمه الفيزيولوجيا والسوسيولوجيا.

وإذا كانت الدراسات التي تتناول المجتمع لم تبلغ مستوى العلوم الوضعية، فذلك لأن الأبحاث التي من هذا النوع كانت دوماً سجينة التفكير الميتافيزيقي، أما اليوم، ومع أوغست كونت، فلقد أصبح من الممكن، بل من الواجب، بفضل تقدم العلوم الوضعية، إنشاء علم اجتماعي وضعي يكون للمجتمع كالفيزياء بالنسبة إلى الطبيعة. وتلكم هي المهمة الرئيسية للفلسفة الوضعية التي نادى بها أوغست مؤسس علم الاجتماع.

غير أن هذه الفلسفة الوضعية لا يمكن أن تقوم على الوجه المطلوب، إذا بقيت العلوم غارقة في تخصصها، بعيدة عن بعضها، لا يدري المختص في إحداها ما يجري في الأخرى. ولذلك بات من الضروري العمل على تجنب ما قد تتعرض له المعرفة العلمية من تشتت وتناثر نتيجة المغالاة في التخصص، الشيء الذي لن يستغله غير الفيلسوف الميتافيزيقي الذي ينصب نفسه فوق العلم والعلماء والذي يتطاول على المعارف العلمية ليؤولها تأويلاً ميتافيزيقياً، يخدم وجهة نظره ككل، أو رأيه في إحدى القضايا التي يتركها العلم جانباً، لكونها قضايا ميتافيزيقية لا يجدي البحث العلمي فيها شيئاً... وليس من سبيل إلى سد الباب في وجه الميتافيزيقا وأصحابها، سوى إنشاء اختصاص علمي جديد يضاف إلى الاختصاصات القائمة، تكون مهمته «دراسة التعميمات العلمية»، مما سيزودنا بفلسفة علمية، هي «فلسفة العلوم» بالذات.

يقول أوغست كونت: «لتقم طبقة جديدة من العلماء المكونين تكويناً ملائماً، وفي ذات الوقت غير مستغرقين في الدراسات التخصصية في أي فرع من فروع الفلسفة الطبيعية[7]، تكون مهمتها، وانطلاقاً من الأخذ بعين الاعتبار الحالة الراهنة لمختلف العلوم الوضعية، تحديد روح كل منها، أي من العلوم، تحديداً دقيقاً، والكشف عن علاقاتها وتسلسلها وتلخيص جميع مبادئها الخاصة، إن كان ذلك ممكناً، في عدد قليل من المبادىء العامة المشتركة بينها، مع التقيد دوماً بالمبادىء الأساسية للمنهاج الوضعي»[8].

وهكذا، فإن فلسفة العلوم في تصور أوغست كونت، هي عبارة عن: «نظرة وحيدة تركيبية»، معاً، يلقيها المرء على جميع العلوم، وعلى القوانين التي تكشف عنها، والمناهج التي تستخدمها، والغايات التي يجب أن تسعى إليها[9]. إن فلسفة العلوم، بهذا المعنى، هي البديل العلمي الوضعي، للفلسفة الميتافيزيقية. إنها والفيزياء الاجتماعية (السوسيولوجيا) التي أنشأها أوغست كونت، الوجهان المتكاملان للفلسفة الوضعية التي نادى بها هو نفسه، الفلسفة التي ترى، كما أشرنا إلى ذلك قبل، أن الفكر البشري غير قادر على معرفة جوهر الأشياء لاكتشاف ما هو منها ثابت يتكرر، أي ما ندعوه «القوانين»، وبالتالي، فإن الفلسفة يجب أن تقتصر على إنشاء تركيبات من هذه القوانين... لا غير.

ب ـ الوضعية الجديدة

وإلى جانب وضعية أوغست كونت وأتباعه، التي كانت تشكّل في فرنسا: «الفلسفة الرسمية للعلم في القرن التاسع عشر»، عرفت ألمانيا، خلال نفس القرن، اتجاهاً وضعياً ظاهرياً تزعّمه العالم الفيزيائي، الفيلسوف أرنست ماخ (١٨٣٨ ـ ١٩١٦) Ernest Mach.

---

(٧) المقصود بالفلسفة الطبيعية هنا: الفيزياء والعلوم الطبيعية على العموم.

(٨) Auguste Comte, *Cours de philosophie positive* (Paris: Librairie Garnier Frères, [s.d.]), tome 1, 1ère leçon.

(٩) ليفي برول، **فلسفة أوكست كونت**، ترجمة محمود قاسم والسيد بدوي (القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، [د. ت.])، ص ١٣٦.

لقد كان لهذا الاتجاه الظاهراتي الذي يرتبط مباشرة بلا مادية بركلي، رد فعل عنيف ضد الفلسفة المثالية الألمانية (فلسفة المطلق و «الشيء في ذاته» التي حمل لواءها كل من فختة وشلينج وهيغل) من جهة، وضد النزعة الميكانيكية (التي سادت في مجال فلسفة الطبيعة منذ نيوتن) من جهة أخرى.

لقد غالى ماخ في نزعته الظاهراتية الحسية غلوّاً كبيراً. فهو يرى أن الطبيعة، بالنسبة إلى الإنسان، هي جملة العناصر التي تقدمها له حواسه، ومن ثمة فإن المصدر الوحيد للمعرفة هو الإحساس. والإحساسات، في نظره، ليست «رموزاً للأشياء»، كما يتوهّم الناس عادة، بل إن «الشيء» هو، بالعكس من ذلك، مجرد رمز ذهني لمركب من الاحساسات يتمتع باستقرار نسبي. ذلك لأنه ليس في الطبيعة أي شيء لا يتغير. فما نسميه «شيئاً» هو محض تجريد، والاسم الذي نطلقه على هذا «الشيء» هو رمز لمركب من العناصر الحسيّة أغفل فيه التغير الذي يعتريه. ونحن نعطي اسماً لهذا المركب ككل، أي نعبّر عنه برمز وحيد، عندما نكون في حاجة إلى استعادة جميع الانطباعات الحسية المرافقة له.

وبناء على ذلك يقرر ماخ أن العناصر الحقيقية للعالم، ليست الأشياء (أي الموضوعات المادية والأجسام) بل، إنها الألوان والأصوات والضغوط اللمسية والأمكنة والأزمنة، وبكلمة واحدة ما نسميه الإحساسات. ولذلك كان من الواجب حصر المعرفة العلمية والبحث العلمي في معالجة ما يقبل الملاحظة، والامتناع عن وضع فرضيات تطمح إلى تفسير ما وراء الظواهر، أي ذلك الميدان الذي لا يوجد فيه أي شيء يمكن تصوره أو إثباته. علينا فقط أن نعمل على الكشف عن علاقات التبعية الواقعية التي تربط حركة الكتلة مثلاً، بتغيرات الحرارة دون تخيّل أي شيء آخر وراء هذه الظواهر القابلة للملاحظة. وبما أن عملية الملاحظة هذه ترتد في نهاية التحليل إلى الاحساسات، فإن هذه، أي الاحساسات، هي في نهاية الأمر، الواقع الوحيد الذي بإمكاننا التأكد من وجوده.

* * *

على أساس هذه النزعة الظاهراتية Phénomènisme المغرقة في الحسية، قامت الوضعية الجديدة بمختلف اتجاهاتها وفروعها. وهي فلسفة منتشرة في أنحاء كثيرة من العالم الغربي، وبكيفية خاصة في انكلترا والولايات المتحدة الأمريكية.

لقد نشأت المدرسة الفلسفية المعروفة بهذا الاسم، أول ما نشأت، في عاصمة النمسا، حيث شكّل بعض أساتذة الفلسفة فيها، وبزعامة موريس شليك M. Shlik ورودولف كارناب R. Carnap وهانس ريشنباخ H. ReiChenbach دائرة فلسفية خاصة، عرفت بـ «دائرة فينا»، وأسسوا لهم مجلة يشرحون فيها آراءهم ونظرياتهم. وقد انتقل كثير من أقطاب هذه المدرسة، تحت ضغط السياسة الهتلرية إلى بريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية حيث أسسوا فروعاً لمدرستهم. وفي بريطانيا وجدوا في الفيلسوف برتراند راسل B. Russel ومنطقه الرمزي خير مساعد ونصير، وإن كان راسل يختلف عنهم ببعض الاختلاف، وكان زعيمهم هناك هو ألفريد ج. أير A.J. Ayer الأستاذ بجامعة لندن.

تدعى هذه المدرسة أحياناً بـ «الوضعية الجديدة» وأحياناً أخرى بـ «التجريبية العلمية»، كما اشتهر بعض فروعها باسم «الوضعية المنطقية». أما الاسم الغالب عليها، والذي يضم مختلف فروعها، فهو «التجريبية المنطقية».

ـ هي تجريبية، لأنها ـ كباقي النزعات التجريبية ـ ترى أن التجربة هي المصدر الوحيد لكل ما يمكن أن نحصل عليه من معارف عن الواقع. فليست هناك، في نظرها، أية أفكار قبلية، ولا أية بداهة عقلية، وبالتالي فإن القضايا التي تتحدث عن أشياء لا يمكن التحقق منها بالتجربة هي قضايا فارغة من المعنى، مثل القضايا الميتافيزيقية عامة.

ـ وهي منطقية لأنها لا توافق هيوم Hume وجماعة التجريبيين الانكليز في رأيهم القائل باستحالة بلوغ اليقين سواء في الميدان الفلسفي أو العلمي لكون جميع معارفنا مستمدة من المعطيات التجريبية الحسّية المتغيرة باستمرار. إن التجريبية المنطقية ترى، على العكس من ذلك، أنه بالإمكان الحصول على معارف يقينية في ميدان العلم شريطة التقيد الصارم بالمنطق الذي هو علم استدلالي صوري بحت، مثله مثل الرياضيات. ولذلك يميّز المناطقة الوضعيون بين القضايا التي تنطوي على معنى، والقضايا الفارغة من كل معنى. الأولى هي القضايا التركيبية (قضايا العلوم الطبيعية) والقضايا التحليلية (قضايا الرياضيات التي هي عبارة عن تحصيل حاصل Tautologie) أما القضايا الأخرى، الفارغة من المعنى، فهي كل القضايا التي لا تنتمي إلى عالم الرياضيات والعلوم الطبيعية، كالقضايا الميتافيزيقية المعروفة.

هناك إذن، في نظر هذه المدرسة الفلسفية المنطقية، نوعان فقط من المعارف المشروعة: معارف ترتبط بصور الفكر ومنشآت اللغة، ومعارف ترتبط بظواهر الواقع ومعطيات التجربة... وبما أن هذا النوع الأخير، أي المعارف العلمية، يرتد في نهاية الأمر إلى ما نقوله عن الأشياء الواقعية، فإنه من الضروري اخضاع لغتنا، أي حديثنا عن الأشياء، لتحليل منطقي صارم، حتى تعبّر عمّا تقدمه لنا «عناصر» التجربة، من غير زيادة أو نقصان. ومن هنا يصبح موضوع الفلسفة، لا الأشياء نفسها، بل الكيفية التي نتحدث بها عنها، مما سيجعل منها «فلسفة علمية» تحلل لغة العلم، لا، بل «منطقاً للعلم». لنستمع إلى كارناب يشرح بنفسه هذه «الفلسفة العلمية» أو هذا المنطق: «منطق العلم»:

يقول كارناب: «إن موضوع أبحاث مدرسة فينا، هو العلم، سواء باعتباره، واحداً أو فروعاً مختلفة. ويتعلق الأمر هنا بتحليل المفاهيم والقضايا والبراهين والنظريات التي تلعب فيه دوراً ما، مع العناية بالناحية المنطقية، أكثر من الاهتمام باعتبارات التطور التاريخي أو الشروط التطبيقية، السوسيولوجية والسيكولوجية. إن هذا الميدان من البحث لم يحظ لحد الآن باسم خاص به، وبالإمكان تمييزه بأن نطلق عليه اسم «نظرية العلم» وبعبارة أدق: «منطق العلم». ونعني بالعلم هنا، مجموعة العبارات Enoncées المعروفة، ليس فقط تلك التي يصوغها العلماء، بل أيضاً تلك التي نصادفها في الحياة الجارية، لأنه من غير الممكن فصل هذه عن تلك بوضع حدود دقيقة بينها. إن المنطق، منطق العلم، قد أصبح ناضجاً لكي يتحرّر من الفلسفة وينفرد بميدان علمي مضبوط، يركز العمل فيه على منهج علمي

صارم، يسدّ الباب نهائياً في وجه الحديث عن معرفة «أكثر عمقاً» أو «أكثر سمواً»...
وسيكون هذا في تقديري آخر غصن ينتزع من الجذع. ذلك لأنه ماذا سيبقى بعد ذلك للفلسفة؟ لن يبقى لديها إلاّ تلك المشاكل العزيزة على الميتافيزيقيين، مثل: ما هو السبب الأول للعالم؟ وما ماهية العدم؟ ولكن هذه ليست سوى مشاكل زائفة خالية من كل محتوى علمي».

«وهكذا ففي حين تزعم الميتافيزيقيا أنها تهتم بـ «الأسس النهائية» ـ أو الأسباب الأخيرة ـ و «الماهية الحقة» للأشياء، فإن منطق العلم لا يعير مثل هذه الأمور أي اهتمام. ذلك لأن كل ما يمكن أن نتحدث به عن الأشياء والظواهر، هو فقط ما تمدنا به العلوم الخاصة، كل في ميدانه... إن كل ما يمكن قوله عن الأجسام المتعضية والظواهر العضوية تختص بالإفصاح عنه البيولوجيا التي هي علم تجريبي، ولا توجد فوق هذا قضايا فلسفية تمس الظواهر المذكورة، ولا وجود لـ (فلسفة الطبيعة) حول الحياة. هذا في الوقت الذي يمكن فيه، وبكل تأكيد، القيام بدراسة منطقية خاصة، دراسة تتناول كيف تتكوّن المفاهيم والفروض والنظريات البيولوجية، إن هذا هو الميدان الذي يختص به منطق العلم...».

ثم يطرح صاحبنا الاعتراض القائل: إذا كان صحيحاً ـ كما يقول المناطقة الوضعيون ـ ان كل قضية لا تنتمي إلى الرياضيات أو العلوم الطبيعية هي قضية فارغة، فإن آراء أصحاب الوضعية المنطقية، وبالتالي منطق العلم ذاته، لن يكون شيئاً آخر سوى قضايا خالية من المعنى. يجيب كارناب عن هذا الاعتراض بأن قضايا «منطق العلم» تدخل في إطار القضايا التحليلية، الرياضية. يقول: «من أجل الرد على وجهات النظر التي ترى الأمور بهذا الشكل، فإننا نؤكد هنا أن قضايا منطق العلم هي قضايا التحليل المنطقي للغة... وبالتحليل المنطقي للغة ما (أو النحو المنطقي Syntaxe logique) نقصد النظرية التي تهتم بصور القضايا وغيرها من منشآت هذه اللغة. إن الأمر يتعلق هنا بالصور، إننا نترك جانبا معنى القضية ومدلول الألفاظ التي تتألف منها»(١٠).

وفي مكان آخر يقول كرناب: «إن كل فلسفة بالمعنى القديم للكلمة، سواء انتسبت إلى أفلاطون أو القديس توما، أو كانت، أو شلينج، أو هيغل، سواء عملت على تشييد «فلسفة جديدة للكائن» ـ أو الوجود ـ أو «فلسفة دياليكتيكية» تبدو أمام النقد الذي لا يرحم، والذي يقوم به المنطق الجديد، لا كنظرية خاطئة من حيث محتواها، بل كنظرية لا يمكن الدفاع عنها منطقياً، وبالتالي خالية من الدلالة».

يتضح مما تقدم أن ما تدعو إليه الوضعية المنطقية هو قصر التفكير الفلسفي على فحص اللغة التي تعبّر بها العلوم، فحصاً منطقياً صارماً، حتى يمكن تطهيرها من تلك التأكيدات الميتافيزيقية التي قد تتسرب إلى المعرفة العلمية بواسطة اللغة العادية التي لا مناص من استعمالها... إن الوضعية الجديدة، إذن، تنفي نفياً قاطعاً، امكان قيام «فلسفة للعلوم»

(١٠) R. Carnap, *Le Problème de la logique de la science*, traduction par Heman Vuillemin, pp. 4-8.

يكون هدفها تشييد نظرية، أو فلسفة في الطبيعة والكون والإنسان، أو على الأقل تعتبر مثل هذه النظرية جملة آراء وأفكار لا تصمد أمام معول «التحليل المنطقي الصارم».

* * *

هل يعبّر موقفها هذا عن رأي العلم الذي تتمسك بأذياله، وتدعي الانتماء إليه؟

لنقتصر هنا على تسجيل الملاحظات التالية:

ـ من الواضح أن منطلقها وهدفها ورغبتها، في آن واحد، هو رفض الميتافيزيقا. ورفض الميتافيزيقا أو قبولها، موقف فلسفي، وليس موقفاً علمياً، باعتبار أن العلم لا يبدي رأيه في المسائل التي يعتبرها خارج نطاقه.

ـ وبالمثل، فإن حصرها لنظرية المعرفة في إطار المعرفة العلمية وحدها، ليس بدوره عملاً علمياً لأنه ليس من مهمة العلم ولا من مشاغله ـ كما يقول بلانشي[11] ـ تقرير أو نفي ما إذا كانت هناك امكانية أخرى للمعرفة خارج العلم. إن المشاكل التي من هذا النوع هي من اختصاص نظرية عامة في المعرفة، نظرية تكون إحدى مهامها وضع المعرفة العلمية في مكانها ضمن أنواع المعارف الممكنة الأخرى.

ـ إن التحليل المنطقي للمفاهيم والفروض والنظريات التي يستعملها العلم، كما تفهمه وتمارسه الوضعية المنطقية، تحليل صوري بحت، يستهدف استخلاص «الهيكل المنطقي» للغة العلم. إنه منطق صوري يشكل مع المنطق الرمزي Logistique، الوجهان الرئيسيان للمنطق الصوري الحديث.

والمنطق، كما هو معروف، يقدم الأدلة والبراهين، ولكنه لا يكتشف شيئاً. هذا في حين أن العلم هو في حاجة إلى الخيال المبدع بقدر حاجته إلى الصرامة المنطقية. إن إهمال ما لا يمكن التحقق منه بالتجربة بدعوى مطاردة الأفكار الميتافيزيقية يمكن أن يؤدي إلى توقف العلم بتوقف الاكتشاف الذي لا بد فيه من ابداعات الخيال والعقل.

٢ ـ وجهة النظر التطورية

أ ـ تطورية هربرت سبنسر

ترى النزعة التطورية Evolutionnisme في معناها العام، أن الوجود الواقعي، بمختلف أنواعه وأشكاله، من العالم اللاعضوي، إلى العالم العضوي، فعالم الفكر والمؤسسات الانسانية، يخضع لقانون واحد شامل، هو قانون التطور. وبالتالي فإنه من الممكن دوماً تفسير الأشكال العليا من الواقع بالتطور الذي يلحق الأشكال الدنيا منه.

وإذا كانت نظرية التطور قد ظهرت أول الأمر، في شكلها العلمي الحديث، في ميدان

---

(١١) Blanché, *L'Epistémologie*, p. 14.

البيولوجيا، مع داروين (١٨٠٩ ـ ١٨٨٢)، فإنه سرعان ما اكتسح مختلف ميادين المعرفة، وأصبحت لفترة من الزمن النظرية السائدة في العلوم الطبيعية والعلوم الانسانية، على السواء، إذ عمد بعض المفكرين، من فلاسفة وعلماء، إلى تعميمها لتشمل جميع مراتب الوجود من المادة إلى الفكر.

ولقد كان هربرت سبنسر (١٨٢٠ ـ ١٩٠٣) على رأس أولئك الذين جعلوا من قانون التطور الخاتم السحري الذي يفسّر مختلف الظواهر الطبيعية منها والانسانية: فهو يرى أن قانون التطور قانون عام مشترك يصدق على جميع أشكال الوجود ودرجاته. لقد اجتهد سبنسر في إنشاء «فلسفة تركيبية» جمع فيها مختلف علوم عصره، مرتكزاً على مبدأ التطور باعتباره قانوناً يضم أشتات العلوم في وحدة متسقة، تشكل «مجال المعلوم» الذي يتألف في نظره من العلوم المجردة تجريداً محضاً (المنطق والرياضيات)، والعلوم المجردة ـ المشخصة (الميكانيكا، والكيمياء، والفيزياء)، والعلوم المشخصة (الفلك، الجيولوجيا، البيولوجيا وضمنها الأخلاق وعلم النفس وعلم الاجتماع). وإذا كان سبنسر يرى ـ كباقي التجريبيين ـ أنه من غير الممكن أن يحصل الانسان على معرفة ما خارج ميدان الظواهر، فإنه يختلف عنهم في كونه يعتقد أن «مجال المعلوم هذا، يدلنا على وجود مجال آخر، هو «مجال المجهول»، الذي يتجاوز إدراكاتنا، لأنه مجال المطلق. وبالتالي فإن الخوض فيه ليس من اختصاص العلم أو الفلسفة (هو ينكر الميتافيزيقيا)، بل من اختصاص الدين. وهكذا يعتقد سبنسر أن النزاع بين الدين والفلسفة ناتج من عدم الفصل بين ميدان الواحد منها وميدان الآخر، إذ كثيراً ما يراد للعلم أن يحل مشاكل لا تحل إلّا بالدين، كما أنه كثيراً ما يقحم الدين في مسائل هي من اختصاص العلم. أما عندما يحصر العلم في مجاله، والدين في ميدانه، فإنهما يتفقان ولا يختصمان. وهكذا فللدين، في نظر سبنسر، مكان إلى جانب العلم. وما الأديان الكبرى إلّا تعابير مختلفة عن قوة المطلق، قوة علة الطبيعة.

وإذا تقرر هذا، فإن المعرفة البشرية، المعرفة التي بإمكان البشر الحصول عليها ثلاثة أصناف: معرفة غير موحّدة، هي المعرفة العامية، ومعرفة ناقصة الوحدة، هي المعرفة العلمية، ثم المعرفة الموحّدة تماماً، وهي المعرفة الفلسفية التي تجمع شتات العلوم، بفضل قانون التطور، في وحدة تركيبية يسودها الاتساق والانسجام. وهكذا، فمهمة فلسفة العلوم، بل الفلسفة على الاطلاق، هي تلخيص النتائج العلمية، وترتيبها في وحدة شاملة، اعتماداً على قانون التطور، الشيء الذي يضع أمامنا صورة واضحة عن ماضيها، وعن آفاق مستقبلها.

ب ـ المادية الجدلية

على أن النزعة التطورية لم تكتسب طابعها العلمي ـ الفلسفي ـ العقائدي إلّا مع المادية الجدلية التي أنشأت نظرية كاملة عن الكون والانسان، تحتل فيها فكرة التطور مركزاً أساسياً. والمقصود هنا هو التطور الديالكتيكي القائم على صراع الأضداد. فالديالكتيك ـ كما يقول لينين ـ هو «العلم الأوسع والأعمق للتطور»، «هو علم القوانين العامة للحركة، سواء في

العالم الخارجي أو في الفكر البشري». إن التطور في المنظور المادي الجدلي يختلف عن الفكرة الشائعة عنه، فهو ـ كما يقول لينين ـ «تطور يبدو وكأنه يستنسخ مراحل معروفة سابقاً، ولكن على نحو آخر، وعلى درجة أرقى (نفي النفي)، إنه تطور لولبي ـ إذا صح التعبير ـ لا على نحو مستقيم، تطور بقفزات وثورات وانقطاعات: تحول الكم إلى كيف».

على أساس هذا الفهم الديالكتيكي للتطور في مختلف المجالات يقدم لنا انغلز ما يمكن اعتباره وجهة نظر الماركسية ـ الرسمية ـ في فلسفة العلوم بكيفية خاصة، وفي علاقة العلم بالفلسفة بكيفية عامة.

يرى انغلز أن الاكتشافات العلمية الحديثة، قد جعلتنا قادرين «على أن نتبين، بالإجمال ليس فقط التسلسل بين ظاهرات الطبيعة في مختلف الميادين مأخوذة على حدة بل وترابط مختلف الميادين فيما بينها، وعلى أن نقدم بذلك لوحة اجمالية لتسلسل الطبيعة بشكل منهجي بعض الشيء، بواسطة الوقائع التي تقدمها العلوم الطبيعية التجريبية نفسها»[12].

«... إن الدراسة التجريبية للطبيعة قد جمعت حشداً من المعارف الايجابية ـ الوضعية ـ هو من الضخامة بحيث أصبح ترتيبها منهجياً وحسب ترابطها الداخلي في كل ميدان على حدة من ميادين البحث، ضرورة ملحّة على وجه الإطلاق. وثمة ما يتطلب، بما لا يقل إلحاحاً، تصنيف مختلف ميادين المعرفة في تسلسلها الصحيح الواحد بالنسبة إلى الآخر. ولكن علم الطبيعة لدى هذا، ينتقل إلى ميدان النظرية، وهنا تخفق الطرائق التجريبية، ولا يمكن أن يقدم الخدمة غير الفكر النظري ولكن الفكر النظري ليس صفة فطرية إلا بالأهلية لها. إن هذه الأهلية ينبغي تطويرها وتثقيفها، وليس لهذا التثقيف من وسيلة حتى الآن غير دراسة فلسفة الماضي. إن الفكر النظري لكل عصر، وبالتالي لعصرنا أيضاً، هو نتاج تاريخي يتخذ في أزمنة مختلفة شكلاً جد مختلف، ومن هنا، فهو يأخذ مضموناً جد مختلف. وعلى هذا فإن علم الفكر، مثل كل علم آخر، هو علم تاريخي، هو علم التطور التاريخي للفكر البشري... إن الديالكتيك هو الذي يؤلف اليوم أهم شكل للفكر بالنسبة إلى علم الطبيعة، إذ إنه الوحيد الذي يقدم عنصر التماثل، وبالتالي طريقة الايضاح للعمليات التطورية التي تشاهد في الطبيعة وللروابط الاجتماعية وللانتقال من ميدان إلى آخر. هذا من جهة، «ومن جهة ثانية، فإذا كانت معرفة التطور التاريخي للفكر البشري، مع المفاهيم عن الترابطات العامة للعالم الخارجي التي ظهرت في مختلف العهود، هي حاجة لعلم الطبيعة النظري، فإنها كذلك أيضاً لأنها تقدم محكاً للنظريات التي ينبغي لهذا العلم أن يبنيها. وإذا كان العلماء يظنون «أنهم يتحررون من الفلسفة بجهلهم لها أو باستنكارهم إياها» فإن هذا مجرد وهم من جانبهم لأنهم «لما كانوا لا يستطيعون أن يتقدموا بدون فكرة خطوة واحدة، ولما كانوا، في حاجة من أجل أن يفكروا، لمقولات منطقية، ولما كانوا، من جهة أخرى، يأخذون هذه المقولات من غير أن ينتقدوها، سواء في الوعي المشترك للناس

(١٢) فريدريك انجلز، نصوص مختارة، اختيار وتعليق جان كانابا، ترجمة وصفي البني (دمشق: منشورات وزارة الثقافة، ١٩٧٢)، ص ٨٣.

المزعوم أنهم مثقفون، هذا الوعي الذي تسيطر عليه بقايا فلسفات بليت منذ زمن بعيد، أم في نتف من الفلسفة ملتصقة في الدروس الاجبارية (الأمر الذي يمثل ليس فقط وجهات نظر متجزئة، بل كذلك خليطاً من آراء أناس منتمين إلى مدارس شتى وفي معظم الأحيان من أسوأ المدارس)، وأما أيضاً في القراءة غير المنتظمة وغير الانتقادية لمنتجات فلسفية من كل نوع، فإنهم ـ أي العلماء ـ في هذه الحال لا يكونون بأقل وقوعاً تحت نير الفلسفة، وفي معظم الأوقات، مع الأسف، تحت نير أسوأ فلسفة. والذين هم أكثر استنكاراً للفلسفة هم بالضبط عبيد لأسوأ البقايا المبسطة لأسوأ المذاهب الفلسفية. ومهما يفعل العلماء، فإنهم واقعون تحت سيطرة الفلسفة، والأمر هو فقط أمر معرفة ما إذا كانوا يريدون أن يكونوا تحت سيطرة فلسفة سيئة ما على «الموضة»، أم يريدون الاسترشاد بشكل للفكر النظري يستند إلى معرفة تاريخ الفكر ومكتسباته»[١٣].

أما هذا الشكل من الفكر النظري الذي يستند إلى معرفة تاريخ الفكر ومكتسباته والذي يجب على العلماء أن يسترشدوا به، فهو المادية الجدلية بالذات، ومن ثمة فإن «فلسفة العلوم» المشروعة في التطور الماركسي، هي تلك التي تنطلق أساساً من المنظور المادي الجدلي. يقول فاطاليف Kh. Fataliev: «وعندما نتحدث عن فلسفة للعلوم، فمن الطبيعي، لكي توجد، التفكير في أنه يجب، أولاً وقبل كل شيء، أن تتخذ العلوم موضوعاً لبحث خاص، وأن تقوم ازاءها بوظيفة المنهاج العام ووظيفة نظرية المعرفة، وأن تسمح للعلماء بالوصول إلى القوانين الأكثر عمومية حول تطور العالم»[١٤]. وغير خاف أن المقصود بالمنهج العام هنا هو الديالكتيك، وأن القوانين «الأكثر عمومية حول تطور العالم» هي بالذات المادية الجدلية.

* * *

إذا كنّا في غير ما حاجة إلى انتقاد تطورية سبنسر، لأنها نظرية لم يعد يقول بها أحد اليوم، ولأنها أيضاً لم تخلف أي تأثير في الأوساط العلمية والفلسفية، بل لقد كانت، شأنها شأن النزعات العلموية عامة، متخلفة عن العلم وتقدمه، فإن وجهة النظر الماركسية، وبالخصوص المادية الجدلية، قد تعرضت لانتقادات كثيرة من جانب العلماء والفلاسفة الوضعيين، سواء منهم الذين ينسبون إلى «التجريبية المنطقية» التي هي تيار فكري يكنّ العداء الصريح للماركسية، أو أولئك الذين يرفضون «الوضعية» بشكلها التقليدي ـ القديم والحديث ـ ويتمسكون بنوع من العقلانية الليبرالية التي تلتقي في نهاية الأمر مع الوضعية ذاتها.

وبما أننا قد استعرضنا، قبل، وجهة نظر زعماء الوضعية الجديدة، وهي وجهة نظر تستهدف أساساً الطعن في الفلسفة الماركسية، فإننا سنكتفي هنا بذكر أهم الاعتراضات التي

---

(١٣) نفس المرجع، ص ١٧٢ ـ ١٧٧.

(١٤) Kh. Fataliev, *Le Matérialisme dialectique et les sciences de la nature* (Moscou: Editions du progrès, [s.d.]), p. 7.

يوجهها إلى الماركسية أولئك المفكرون «الوضعيون» الذين يرفضون الانتماء إلى «الوضعية التجريبية» باسم التمسك بالعقلانية، على الرغم من التقائهم معها في كثير من المنطلقات والأهداف.

يرى هؤلاء:

١ ـ إن المادية الجدلية حينما تطبق الديالكتيك وقوانينه على المادة والطبيعة والمجتمع تكون كأنها تفرض على الواقع الموضوعي مصادرات عقلية، أو مبادىء قبلية. ذلك لأن معالجة الواقع الموضوعي ـ المادي والاجتماعي والتاريخي ـ معالجة ديالكتيكية شيء، والاعتقاد بأن الطبيعة والمجتمع والتاريخ يخضع كل منها في وجوده وتطوره للديالكتيك شيء آخر. بمعنى أن الفرق كبير جداً بين الديالكتيك كمنهج والديالكتيك كنظرية أو عقيدة، والمادية الجدلية منهج وعقيدة معاً.

٢ ـ إن التطور الديالكتيكي في نظر المادية الجدلية تطور تقدمي، يسير إلى الأمام، ومثل هذا القول يحمل بين طياته كما يقول بعض النقاد نوعاً من الغائية. فلماذا يكون التركيب أو نفي النفي، (وهو اللحظة الثالثة من الديالكتيك الهيغلي الماركسي)، على هذا الشكل ولا يكون على شكل آخر؟ ألسنا هنا أمام نظرية تنسب إلى الطبيعة والمجتمع، في تطورهما، نوعاً من الغائية، وبالتالي، ألا يتعلق الأمر بتبرير عقيدي، لا غير؟

٣ ـ إن قوانين الديالكتيك تؤطر الواقع الطبيعي والاجتماعي، في حين أن هذا الواقع بنوعيه، وبالخصوص الواقع الطبيعي في مستوى الميكروفيزياء، لا يخضع لمثل هذا التأطير. إن تقدم العلوم الفيزيائية قد حمل العلماء إلى إعادة النظر في كثير من الأسس الفكرية والمبادىء النظرية التي كانوا ينطلقون منها قبل. والكشوف العلمية الحديثة في ميدان الميكروفيزياء، لا تسمح بالقول بأن الأضداد تتصارع بالشكل الذي يؤدي إلى قيام تركيب بينها (نفي النفي)، بل إنها تفرض نفسها كحقائق يجب الأخذ بها على الرغم من تناقضها، لأن كلاً منها يعكس أو يعبر عن جانب من الحقيقة[١٥].

هذا، ولا يخفى أن هذه الانتقادات تصدق، أكثر ما تصدق، على «المادية الجدلية»، كما صاغها ستالين، لا على آراء ماركس ولينين ـ وإلى حد ما انغلز ـ الذين لا يقولون بأن الطبيعة، خاضعة للديالكتيك كما يدّعي هؤلاء النقاد. بل كل ما في الأمر هو أن الديالكتيك في نظرهم، هو نفسه حركة الفكر والطبيعة والمجتمع. فالأمر يتعلق إذن باكتشاف الديالكتيك في الطبيعة والمجتمع ـ علاوة على الفكر ـ لا بخضوع الطبيعة أو المجتمع لقوالب خارجية. هذا فضلاً عن إلحاحهم جميعاً على وجوب اعتبار المادية الجدلية والمادية التاريخية كمنهج ونظرية تغتني بتقدم المعرفة البشرية، لا كعقيدة نهائية جاهزة مغلقة.

---

(١٥) Georges Gurvitch, *Dialectique et sociologie*, nouvelle bibliothèque scientifique (Paris: Flammarion, 1962), pp. 154-156.

سادساً: الايبستيمولوجيا و «الفلسفة المفتوحة»

أشرنا قبل قليل إلى اتجاه ثالث، يرفض التقيد بالقيود التي تلتزم بها «التجريبية المنطقية» ويتمسك بالعقلانية و «الديالكتيك»، في الوقت نفسه الذي يرفض فيه التقيد بمقولات المادية الجدلية وقوانين الديالكتيك الهيغلي الماركسي.

يتعلق الأمر بالمدرسة الفرنسية خاصة. هذه التي تلتزم التقليد العقلاني، و «التفتح» الليبرالي. وهكذا، فإذا كانت الوضعية الجديدة ـ كما يقول بياجي ـ «فلسفة للعلوم مغلقة تحرم على العلم اقتحام بعض الحواجز»، وتعتبر ما يخرج عن القضايا التحليلية والقضايا التركيبية مجرد لغو، أو كلام فارغ من المعنى، وبالتالي تحصر المعرفة البشرية في ظواهر التجربة وصور الفكر وقواعد اللغة، وإذا كانت المادية الجدلية «تفرض بدورها ـ كما يرى الوضعيون بمختلف نزعاتهم ـ نوعاً من الوصاية على العلم والعلماء» حينما تطالبهم بأن يستقوا منها مناهجهم العام ونظريتهم في المعرفة، وإذا كان التقدم العلمي، خاصة في ميدان الميكروفيزياء، قد تخطى كثيراً من الحواجز التي وضعتها الوضعية في وجهه، وكشف في ذات الوقت عن «حقيقة ديالكتيكية» جديدة، هي أن الأضداد لا تتصارع في المستوى الميكروفيزيائي، لتنتهي بالضرورة إلى تركيب، بل «تتكامل» لتعبر عن الحقيقة بأوجهها المختلفة المتناقضة، كما يقول بذلك بور زعيم مدرسة كوبنهاغن. إذا كان ذلك كذلك، فلماذا لا نترك الديالكتيك مفتوحاً وقابلاً للأخذ بعدة حلول؟

تلك هي وجهة نظر «الفلسفة المفتوحة» التي نادى بها فرديناند كونزت Ferdinand Gonseth، العالم الرياضي السويسري (١٨٩٠ ـ ١٩٧٦) وتبنَّاها وطوّرها غاستون باشلار G. Bachelard الفيلسوف الفرنسي المشهور (١٨٨٤ ـ ١٩٦٢) فشرحها في عدة مؤلفات، كما تلتقي معها، في عدة جوانب، «الايبستيمولوجيا التكوينية» Epist. génétique التي يدعو لها حالياً، ومنذ ما يقرب من ثلاثة عقود من السنين الفيلسوف وعالم النفس السويسري جان بياجي Jean Piaget.

وعلى الرغم من أن هؤلاء الثلاثة قد استقوا آراءهم الايبستيمولوجية، كل على حدة، من ميادين تخصصهم (كونزت من الرياضيات، وباشلار من الفيزياء، وبياجي من علم نفس الطفل)، وعلى الرغم من أنهم غير متفقين تمام الاتفاق في كثير من المسائل، فإنه يمكن القول، بصفة عامة، إنهم جميعاً من أنصار «الباب المفتوح» في فلسفة العلوم. وبما أننا سنلتقي بآرائهم في فصول قادمة، فإننا سنقتصر هنا على إشارة عابرة للأسس العامة التي تقوم عليها هذه «الفلسفة المفتوحة» بأشكالها الثلاثة.

١ ـ ايدونية كونزت

وصف كونزت فلسفته بكونها «إيدونية» Idonéisme (من Idoine ويعني الملاءمة للهدف المرسوم)، أي الفلسفة التي تقوم على أساس ضرورة اخضاع المبادىء والنتائج للتجربة، مما يجعلها قابلة للمراجعة والتعديل بكيفية مستمرة.

وعلى العموم فإن «الديالكتيك الأيدوني»، الديالكتيك «العلمي» في نظر كونزت، يقوم على المبدأين الرئيسيين التاليين:

أ ـ التسليم من الناحية المبدئية على الأقل، بأن كل حقيقة، أياً كانت، هي حقيقة محملة، وأن كل فكرة هي دوماً في حالة صيرورة، وأن أية قضية، مهما كانت، لا بد أن تقبل المراجعة.

ب ـ إن المعرفة الموضوعية، والديالكتيك، لا يبنيان بواسطة عملية تنظيم تنطلق من مواقف معيارية ثابتة لا تتغير، بل بواسطة اعادة تنظيم متواصلة، تبدأ من حقل التجربة لتصل إلى إعادة تفسير المعطيات المباشرة.

وتأسيساً على ذلك، فإن الخطوة الديالكتيكية الأولى هي «تطهير المعرفة تحت ضغط تجربة تتوافق معها». وهذا يعني أن الفكر يجب أن يبقى دوماً مفتوحاً، مستعداً لتقبّل أية فكرة جديدة وأية ظاهرة تتناقض مع الأفكار المسلّم بها قبل. ومن هناك المبدأ الأساسي في كل «فلسفة مفتوحة»، مبدأ: القابلية للمراجعة Révisibilité الذي يدعو العالم إلى أن يبقى مستعداً باستمرار لإعادة النظر في مبادئه وأفكاره ومناهجه، لأنه «ليس من الحكمة اعتبار أي قانون، مهما كان، قانوناً مطلقاً ضرورياً عاماً».

على هذا الأساس ينتقد كونزت المادية الجدلية لأنها ـ في نظره ـ «تفرض على العقل خطوات معينة»، كما ينتقد الوضعية المنطقية لكونها تعتقد أنه بالإمكان معالجة صور الفكر دون إعطاء اعتبار للمادة أو المحتوى، والحالة أنه لا يمكن الانطلاق من نقطة الصفر في ميدان المعرفة، وبالتالي فإن الصورية المطلقة مستحيلة حتى ولو اقتصرت على جملة من الرموز التي لا ترمز لأي شيء معين، وفي الوقت ذاته ترمز لكل شيء. ذلك لأن في كل عملية تجريد راسب من حدس الواقع، كما أن الإنسان الذي يمارس البحث والتنقيب هو كائن له ماضٍ معرفي، ماضٍ يقدّم له الأدوات (الأفكار والمفاهيم) التي بها يبحث وينقّب. من أجل هذا كله كان من غير الممكن الفصل في المعرفة بين ما هو تجريبي وما هو محض عقلي. فالمعرفة بطبيعتها تجريبية وعقلية معاً: في كل معرفة عقلية راسب من التجربة، وفي كل معرفة تجريبية جانب عقلي يتمثّل على الأقل في بعض الافتراضات النظرية المسبقة. ذلك هو فحوى مبدأ الثنائية الذي يتمسّك به كونزت في هذا المجال.

٢ ـ فلسفة النفي عند باشلار

في هذا الاتجاه ـ تقريباً ـ سار باشلار الذي ينطلق هو الآخر من «الباب المفتوح»، فلا يقبل أي مبدأ عقلي ولا أية فكرة مسبقة. ولكنه مع ذلك يعتقد أن العقل قادر على أن يقوم، انطلاقاً من التجربة، بصياغة منظومة للمعرفة يتحقق فيها الانسجام تدريجياً، بفضل التقدم العلمي والمراجعة الدائمة التي يفرضها العلم على العلماء. فالعلم يغني العقل وعلى هذا الأخير أن يخضع للعلم الذي يتطور باستمرار.

لقد وصف باشلار فلسفته بأنها «فلسفة النفي» La Philosophie du non (وذلك هو عنوان أحد كتبه)، الفلسفة المؤسّسة على العلم الحديث والتي ترفض الآراء العامية والتجربة الابتدائية والوصف المبني على مجرد الخبرة. إنها الفلسفة التي تقول لا لعلم الأمس وللطرق المعتادة في التفكير، ولا تأخذ «البسائط» أي الأفكار البسيطة على أنها أفكار بسيطة فعلاً يجب التسليم بها دون مناقشة، بل إنها تجتهد في نقد هذه «البسائط» نقداً جدلياً لتكشف عمّا تنطوي عليه من لبس وغموض. ولكن ذلك كله لا يعني أنها فلسفة سلبية. كلا. يقول باشلار: «والواقع أنه من الواجب أن ننبه دوماً إلى أن فلسفة النفي ليست من الناحية السيكولوجية نزعة سلبية، ولا هي تقود إلى تبنّي العدمية ازاء الطبيعة، فهي بالعكس من ذلك فلسفة بنّاءة، سواء تعلق الأمر بنا نحن أو بما هو خارج عنّا. فلسفة ترى في الفكر عامل تطور عندما يعمل: إن التفكير في الموضوعات الواقعية معناه الاستفادة مما يكتنفها من لبس وغموض قصد تعديل الفكر وإغنائه. وتجديل التفكير (تطبيق الديالكتيك عليه) معناه الرفع من قدرته على إنشاء الظواهر الكاملة انشاء علمياً، وعلى احياء جميع المتغيرات المهملة التي كان العلم، والفكر الساذج، قد أهملاها في الدراسة الأولى»[١٦].

بهذه الطريقة تصبح الموضوعات العلمية عبارة عن مجموع الانتقادات التي وجهت إلى صورتها الحسية القديمة. فليست الذرّة مثلاً هي هذه الصورة التي أعطاها لها هذا العالم أو ذاك، بل هي مجموع الانتقادات التي وجهت إليها ـ أي إلى تلك الصورة ـ من طرف العلماء والباحثين اللاحقين. إن المهم في العلم ليس الصورة الحسية المتخيلة التي يقدمها هذا العالم أو ذاك، عن أشياء الطبيعة، إن المهم هو الانتقادات وأنواع الرفض التي تلاقيها هذه الصورة من طرف العلماء الآخرين.

إن «فلسفة النفي» إذن، ترفض كل تصور علمي يعتبر نفسه كاملاً نهائياً، إنها الفلسفة التي ترى «أن كل مقال في المنهج هو دوماً مقال ظرفي، مقال مؤقت لا يصف بناء نهائياً للفكر العلمي»، بل فقط، بناء يبنى على الدوام ويعاد فيه النظر باستمرار. ولذلك كان العلم وتاريخ العلم لا ينفصلان، باعتبار أن العلم محاولة دائبة للكشف عن الحقيقة، وأن تاريخ العلم هو «تاريخ أخطاء العلم».

٣ ـ الايبستيمولوجيا التكوينية (بياجي)

أما جان بياجي، فهو يرى من جهته أن الخطأ الذي ارتكبه الفلاسفة في موضوع المعرفة والذي جعل آراءهم فيها تبقى عقيمة غير منتجة وغير مواكبة للتطور، هو أنهم كانوا ينظرون إلى المعرفة كواقعة نهائية كاملة، وليس كعملية تطور ونمو Processus، لقد شغل الفلاسفة أنفسهم دوماً، من أفلاطون إلى كانت، بالبحث عن مبادىء أو حقائق نهائية، تقوم عليها المعرفة البشرية، ولم تسلم من هذه الظاهرة المعيبة حتى العلوم الأخرى من رياضيات

(١٦) Gaston Bachelard, *La Philosophie du non: Essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique*, bibliothèque de philosophie contemporaine (Paris: Presses universitaires de France, 1949), p. 17.

وطبيعيات وعلوم انسانية، حيث كانت، إلى عهد قريب، تأخذ بعض القضايا المبدئية، كل في ميدانه، على أنها قضايا نهائية لا يجوز الشك فيها أو الطعن في صدقها. أما اليوم، يقول بياجي، وبفضل تقدم العلوم، لم يعد هناك من يقول بمثل هذه القضايا «النهائية». فجميع القضايا العلمية «المبدئية» قابلة للمراجعة والتصحيح. هذا من جهة، ومن جهة أخرى ليست هناك «قضايا فارغة من المعنى» وإلى الأبد، بل هناك فقط، «قضايا فارغة من المعنى حالياً» بمعنى أنه قد يأتي يوم يكشف فيه العلم عن «معاني» هذه القضايا، لأن المعرفة، كما قلنا، ليست نهائية، بل هي تنمو وتتعدل وتتطور باستمرار.

ومن أبرز مظاهر هذا التطور الذي عرفته المعرفة وفلسفة العلوم، في العصر الحاضر، هو الفصل بين الفلسفة والابيستيمولوجيا. وهذا راجع، كما يرى بياجي وغيره، إلى أن العلماء قد أصبحوا يهتمون بأنفسهم بدراسة الجوانب التي تهم فلسفة العلوم، أو الابيستيمولوجيا، كل في ميدانه الخاص. وفي هذا الصدد انكبّ بعض علماء النفس، وعلى رأسهم بياجي نفسه، على دراسة العلاقة بين المعرفة والنمو السيكولوجي للمبادىء والمفاهيم الفكرية (مبدأ الهوية، وعدم التناقض، مبدأ السببية، مفهوم العدد، ومفهوم المكان، والزمان. . . الخ). وكان من بين نتائج هذه الدراسات الجديدة قيام نوع جديد من «نظرية المعرفة» هو «الابيستيمولوجيا التكوينية» التي تهتم بدراسة المعرفة دراسة سيكولوجية علمية بوصفها عملية انتقال من حالة دنيا إلى حالة عليا.

وكما تعتمد الابيستيمولوجيا التكوينية - التي أسسها بياجي - على علم النفس، وعلم نفس الطفل بكيفية خاصة، لمعرفة كيف تنمو المفاهيم العقلية، تعتمد كذلك على المنطق قصد دراسة صورية لهذا النمو بمراحله المختلفة. ولذلك كان المنهج الذي تتبعه، منهجاً مزدوجاً: التحليل المنطقي، والتحليل التاريخي - النقدي، أو التكويني.

إن مهمة التحليل المنطقي هي دراسة كيف تنتقل المعرفة من حالة دنيا من الصدق إلى حالة عليا منه. أما التحليل التاريخي - النقدي فهو يدرس كيف تترجم المعرفة الواقع الموضوعي، وبالتالي علاقة الذات بالموضوع. ذلك لأن مشكل المعرفة ليس محصوراً فقط في مسألة الصدق المنطقي، ليس مشكلاً صورياً محضاً، بل هو أيضاً مسألة علاقة الفكر بالواقع. ولذلك فالعمليات العقلية المنطقية والمفاهيم والمعاني الرياضية يمكن، بل يجب بنظر بياجي، أن تفسّر تفسيراً سيكولوجياً، إذا ما نحن أردنا تجنّب تفسيرها تفسيراً مثالياً أفلاطونياً، أي النظر إليها كحقائق نهائية قائمة بذاتها (مثل أفلاطون)، وإذا ما أردنا كذلك، تجنّب اعتبارها مجرد ألفاظ ورموز لغوية.

وإذن، فإن «المنهاج التكويني في الابيستيمولوجيا يستلزم النظر إلى المعرفة من زاوية تطورها في الزمان، أي بوصفها عملية تطور ونمو متصلة يستعصي فيها بلوغ بدايتها الأولى أو نهايتها الأخيرة. وبعبارة أخرى، فإنه لا بد من النظر إلى المعرفة، أية معرفة، من الناحية المنهجية، بوصفها نتيجة لمعرفة سابقة بالنسبة إلى معرفة أكثر تقدماً.

وباختصار، فإن المبدأ الأساسي الذي تنطلق منه الابيستيمولوجيا التكوينية «هو نفس

المبدأ الذي تشترك فيه جميع الدراسات التي تتخذ موضوعاً لها: النمو العضوي، وهو أنه لا يمكن الكشف عن طبيعة واقع حي، بمجرد دراسة مراحله الأولية وحدها، ولا بدراسة مراحله الأخيرة وحدها، بل بدراسة حركية تحوّلاته نفسها»[١٧].

* * *

كل ما نستطيع أن نخرج به من نتائج، بعد هذا العرض السريع الذي حاولنا فيه تقديم فكرة عامة عن رأي كل من كونت وباشلار وبياجي، هو أن الايبستيمولوجيا في نظرهم «نظرية علمية في المعرفة» أو «فلسفة للعلوم» مفتوحة.

– هي نظرية «علمية» في المعرفة لكونها تستقي موضوعاتها ومسائلها ومناهجها من العلم ذاته، من المشاكل التي يطرحها تقدم العلم على العلماء المختصين، كل في ميدانه. فهي، إذن، تعنى بالمعرفة العلمية أساساً، وتحاول أن تقدم حلولاً علمية لقضايا المعرفة عامة، بقدر ما تنتمي هذه القضايا إلى ميادين البحث العلمي. إن الفرق كبير إذن بين نظرية المعرفة في الفلسفة التقليدية، وبين «نظرية المعرفة العلمية» المعاصرة. لقد كانت الأولى من انتاج الفيلسوف، أما الثانية فهي من انتاج العلماء، أو الفلاسفة المتبعين للتقدم العلمي في ميدان واحد أو أكثر. كانت الأولى تطمح إلى إيجاد حل لمشكلة المعرفة ككل، بكل جوانبه وأبعاده منطلقة من الخبرة الحسية أو من النظر العقلي، أو منهما معاً. أما الأخرى فهي لا تطرح مشكل المعرفة، هذا الطرح الواسع الشامل، بل تقتصر في الغالب على بحث القضايا والمشاكل التي تعترض العلماء في أروقتهم العلمية الخاصة، وبكيفية عامة، القضايا والمشاكل القابلة لأن تكون موضوع بحث علمي، أي تلك التي يمكن اخضاعها للاختبار والمراقبة والتحقيق.

– وهي «فلسفة للعلوم مفتوحة»، لأنها «لا تريد» أن تتقيد بأي نسق فلسفي معين، ولا تجعل من مهامها ولا من مشاغلها إقامة مثل هذا النسق. إنها تتمسك بنسبية المعرفة، ومبدأ «القابلية للمراجعة» تمسكاً صارماً. إن الايبستيمولوجيا بهذا المعنى، وكما يرى باشلار، تهتم بجوانب النقص والخطأ والفشل في الميدان العلمي، أكثر من اهتمامها بالكشف عن «الحقيقة»، «الحقيقة» التي طالما أضاع الفلاسفة جهودهم في البحث عنها. ومن هنا تصبح الايبستيمولوجيا، في نظر هؤلاء، هي «الفلسفة المشروعة»، الفلسفة «العلمية المفتوحة»، الفلسفة التي تواكب العلم في تطوره وتقدمه.

وهناك جانب آخر يجمع هؤلاء الثلاثة وهو معارضتهم جميعاً للنزعة الوضعية وخاصة لـ «التجريبية المنطقية»، لكونها نزعة مغلقة تحصر مجالات البحث الايبستيمولوجي في التحليل المنطقي للغة العلم. هذا في حين يتبنّى هؤلاء الثلاثة المنهج التاريخي ـ النقدي، أو ما يسمى بـ «الديالكتيك العلمي»، كل من زاوية اختصاصه واهتماماته.

---

(١٧) Jean Piaget, *Introduction à l'épistémologie génétique*, 2 tomes (Paris: Presses universitaires de France, 1973), tome 1, pp. 18-23.

وفي ما عدا ذلك، بل ولربما بسبب من ذلك فإن أقطاب هذه «الفلسفة المفتوحة» يختلفون في ما بينهم في كثير من المنطلقات والمسائل. وهكذا فبينما اهتم كونزت بالرياضيات أساساً، محاولاً إرجاع المعاني الرياضية، عند نهاية التحليل، إلى التجربة، ومؤكداً على العلاقة الجدلية بين الذات والموضوع، بين المشخص والمجرّد، ناظراً إلى هذه العلاقة نظرة مثالية وضعية تسقط من حسابها ارتباط الوعي وأشكاله بالوجود الاجتماعي والممارسة الاجتماعية، بينما فعل كونزت ذلك، خطا باشلار بهذه «الفلسفة المفتوحة» خطوة إلى الأمام، حيث اهتم بتطور المعرفة العلمية - وخاصة في ميدان الفيزياء - رابطاً بين العلم وتاريخ العلم كما رأينا قبل. ولكن عيبه الأساسي هو أنه نظر هو الآخر إلى تاريخ العلم نظرة مثالية، نظرة تفصل الفكر العلمي عن النشاط المعرفي للإنسان. ونفس الملاحظة يمكن توجيهها أيضاً إلى جان بياجي الذي اهتم بـ «تاريخ» المعرفة، على المستوى السيكولوجي وحده، على الرغم من إقراره بأهمية العوامل الاجتماعية التاريخية. وهذا شيء مفهوم تماماً، فجان بياجي يريد أن يؤسس الايبستيمولوجيا على علم النفس التكويني، الشيء الذي يجعل من ايبستيمولوجيته نوعاً من سيكولوجية المعرفة عموماً، وسيكولوجية المفاهيم المنطقية والعمليات العقلية خصوصاً.

وبالجملة، فإن المنهج التاريخي - النقدي الذي يتبناه هؤلاء الثلاثة، بدرجات متفاوتة، يتحرك فقط على المستوى السيكولوجي: باشلار يقوم بنوع من التحليل النفسي لتطور الفكر العلمي، وبياجي يعنى بكيفية خاصة بنمو المعرفة لدى الانسان الفرد، انطلاقاً من سيكولوجية الطفل، في حين لا يلتزم كونزت بفرع خاص من فروع علم النفس، بل يتبنى النزعة السيكولوجية الوصفية، في خطوطها العامة.

سابعاً: الايبستيمولوجيا وتاريخ العلوم

إن الملاحظات السابقة تقودنا إلى طرح العلاقة بين الايبستيمولوجيا وتاريخ العلوم، وهي علاقة متشابكة متداخلة، كما سنرى بعد قليل. ولكن ماذا نقصد بتاريخ العلم هنا، وما هي أكثر أنواع تاريخ العلوم التصاقاً بالايبستيمولوجيا؟

لنؤكد مرة أخرى أنه ما دام الأمر يتعلق، في الميدان الايبستيمولوجي، بالبحث في الأسس التي يقوم عليها الفكر العلمي، فإنه لا غنى للباحث في هذا الموضوع من تاريخ العلوم، يدرسه ويحلله ويستفتيه. وكما يقول بيير بوترو[18]: «إن تاريخ العلوم، المدروس بشكل ملائم، يزيد من حظوظنا في اكتشاف أسس التفكير العلمي واتجاهاته»، «إنه المقدمة الطبيعية لفلسفة العلوم».

---

(18) Pierre Léon Boutroux, *L'Idéal scientifique des mathématiciens dans l'antiquité et les temps modernes*, nouvelle éd., nouvelle collection scientifique (Paris: Presses universitaires de France, 1955).

يميز بيير بوترو بين أربعة أنواع من تاريخ العلم:

١ ـ هناك أولاً، البحث الوثائقي: جمع النصوص المتعلقة بمنهجية العلماء القدامى منهم والمحدثين، وغني عن البيان القول بأن هذا البحث الوثائقي عمل تمهيدي لتاريخ العلم، هدفه جمع الوسائل الضرورية لبناء تاريخ العلم المطلوب.

٢ ـ وهناك ثانياً، العمل الذي يقوم به الشخص الذي يجمع سلسلة النظريات والفروض العلمية التي وضعها العلماء خلال مختلف العصور وإلقاء الضوء عليها. «إن تاريخ العلم بهذا المعنى سيكون، في معظمه، تاريخاً للأخطاء الانسانية. وهو مفيد جداً للفيلسوف والمؤرخ الحضارة، ولكنه لا يفيد شيئاً رجل العلم، إلا إذا كان الأمر يتعلق بتحذيره من الوقوع في نفس الأخطاء التي وقع فيها أسلافه العلماء.

٣ ـ وهناك من جهة ثالثة، مفهوم آخر لتاريخ العلم جد شائع، وهو التاريخ الذي يهتم بالبحث عن «وطن» للاكتشافات العلمية الكبرى. وإذا كان هذا النوع من تاريخ العلوم يفيد في إعطاء كل شعب نصيبه من الاكتشافات العلمية وإبراز مساهمته في تقدم العلم خاصة، والمعرفة البشرية عامة، فإن هذا التوزيع الجغرافي لا يفيد في تبين الأصل الحقيقي الذي قامت عليه المكتشفات العلمية. فماذا يفيدنا، عند البحث عن الأصل المنطقي والأساس الابيستيمولوجي للنظريات العلمية، إرجاعها إلى هذا الشخص أو ذاك، إلى هذا الوطن أو ذاك؟

إننا إذا رجعنا إلى تاريخ النظريات العلمية فسنجد أن كثيراً من النظريات الحديثة قد قال بها، بشكل أو بآخر، بعض العلماء المنتمين إلى عصور سابقة، ولو على شكل ارهاصات أو ملاحظات معزولة. هذا صحيح. ولكن ماذا يفيدنا ذلك؟ إن المهم ليس هو هذه الإرهاصات أو الملاحظات المعزولة اليتيمة، بل المهم ـ بالنسبة إلى البحث الابيستيمولوجي ـ هو معرفة كيف أصبحت هذه الملاحظة أو ذاك الاكتشاف جزءاً من بنية فكرية جديدة، أو عضواً أساسياً من عناصرها: ليس المهم هو ظهور الاكتشافات المنهجية أو العلمية ظهور البرق هنا أو هناك، بل المهم هو التيارات الجديدة التي تنشأ عنها. ومن ثمة فإن ما يشكل الخصوصية العلمية، أو الأصالة الفكرية، لشعب من الشعوب ليس هو كون بعض أفراده قد سبقوا إلى كذا أو كذا من الآراء العلمية، بل الأصالة الفكرية لشعب من الشعوب كامنة أساساً في طرائق العمل التي يعتمدها هذا الشعب، وفي العادات الفكرية والميول العقلية السائدة لديه[19].

وإذن، فإن التعرّف على تطور العلم والأسس الفكرية والمنهجية التي يقوم عليها، لا

(١٩) من المفيد أن نلاحظ هنا، على ضوء ما سبق، أن محاولات التاريخ للعلوم عند العرب، في الأدبيات العربية الحديثة، ما زالت محاولات «وطنية قومية» ترمي إلى إبراز مآثر العرب الجزئية في هذا الميدان العلمي أو ذاك. ولكنها لم ترق بعد إلى مستوى التاريخ لتطور الفكر العلمي العربي ككل، وبيان أسسه الفكرية وأدواته الذهنية وتأثيره في الحضارة العربية ككل.

يفيد فيه إبراز مآثر هذا الشخص أو هذا الشعب، فالمهم هو النظر إلى التطورات العلمية في سياقها التاريخي بقطع النظر عن الأشخاص والأوطان.

٤ ـ وهنا نصل إلى النوع الذي يهم الدراسات الايبستيمولوجية من أنواع تاريخ العلم. إنه التاريخ الذي يساعد على تبيّن أسس الفكر العلمي والذي يعتمد المنهج التاريخي ـ النقدي، ويهدف إلى دراسة التيارات الكبرى للفكر العلمي، مع إعطاء كل ظاهرة أو اكتشاف مكانه في هذه التيارات ـ ناظراً إليه من زاوية الطريقة التي تمّ بها ـ هذا الاكتشاف ـ والدلالة التي يكتسبها بالنسبة إلى الأبحاث التي تليه. هذا النوع من تاريخ العلم يدخل ـ كما يقول بوترو ـ فيما يمكن أن نطلق عليه «التاريخ الفلسفي للعلم»، «التاريخ الذي يربط الاكتشافات أو التيارات العلمية، لا بمختلف الفلسفات الميتافيزيقية التي استندت عليها، بل بالفكر العلمي وبتطور العلم ذاته»[20].

وإذن، فإن ما يهم الايبستيمولوجيا من تاريخ العلوم هو تطور المفاهيم وطرق التفكير العلمية، وما ينشأ عن ذلك من قيام نظريات معرفية جديدة.

وإذا تقرر ذلك فإننا سنجد أنفسنا أمام مشكلة ايبستيمولوجية تزيدنا وعياً بمدى التداخل والتشابك بين الايبستيمولوجيا وبين تاريخ العلوم، مفهوماً على هذا الشكل: يتعلق الأمر هنا بالكيفية التي نتصور بها تطور المفاهيم وطرق التفكير العلمية. هل نحن هنا أمام تطور «متصل»، أمام بناء يشيد باستمرار، لبنة فوق لبنة، أم أننا أمام تطور متقطع «منفصل»، أمام بناء يشيد، ويعاد تشييده باستمرار.

إن قضية «الاتصال والانفصال» في تطور العلم من القضايا التي تعنى بها الأبحاث الايبستيمولوجية المعاصرة، وسنتعرف عليها من خلال دراستنا لتطور الأفكار في الفيزياء (الجزء الثاني من هذا الكتاب)، وحسبنا الآن أن نشير إلى أن وجهة النظر القائمة على الانفصال هي السائدة اليوم، وهي ترى أن تطور المعرفة العلمية لا يستند دوماً على نفس المضامين التي تحملها المفاهيم والتطورات العلمية في عصر من العصور أو في فترة من فترات تطور العلم، بل إنه تطور يستند على إعادة بناء المفاهيم والتصورات والنظريات العلمية، وإعادة تعريفها وإعطائها مضموناً جديداً. إن تاريخ العلم ليس تاريخاً ستاتيكياً، بل هو تاريخ دينامي يمتاز بخاصية نوعية، وهي أنه يجب على تاريخ العلوم أن يبني موضوعه باستمرار، لأن الموضوع المباشر الذي يجده أمامه هو دوماً موضوع غير مكتمل. إن هذا يعني أن تاريخ العلوم هو عبارة عن مراحل تختلف فيما بينها اختلافاً جذرياً، مراحل تفصل بين كل واحدة منها والتي تليها «قطيعة ايبستيمولوجية». وليس المقصود بـ «القطيعة الايبستيمولوجية» ظهور مفاهيم ونظريات واشكاليات جديدة وحسب، بل إنها تعني، أكثر من ذلك، أنه لا

---

(٢٠) نفس المرجع، ص ٩ ـ ١٣. هذا وتجدر الإشارة هنا إلى أن كتاب برانشفيك، مراحل الفلسفة الرياضية يربط تاريخ الرياضيات بالفلسفات «الميتافيزيقية» التي استندت على الرياضيات. انظر:
Léon Brunschvicg, *Les Etapes de la philosophie mathématique*, nouveau tirage augmenté d'une préface de Jean-Toussaint Desanti (Paris: A. Blanchard, 1972).

يمكن أن نجد أي ترابط أو اتصال بين القديم والجديد. إن ما قبل، وما بعد، يشكلان عالمين من الأفكار، كل منها غريب عن الآخر[٢١].

ولما كانت القطيعة الابستيمولوجية، بهذا المعنى، خاصية نوعية لتطور العلوم، أي لما كان ما قبل القطيعة وما بعدها يختلفان جذرياً أحدهما عن الآخر، فإن تاريخ العلوم يصبح حينئذ عبارة عن سلسلة من «الحقائق» و«الأخطاء» المتعاقبة، أو كما قال كاستون باشلار «إن تاريخ العلم هو أخطاء العلم». وبعبارة أخرى «إن **تاريخ العلم ليس تاريخاً للحقيقة، بل هو تاريخ ما ليس العلم إياه، وما لا يريد العلم أن يكونه، وما يعارضه العلم، تاريخ العلم هو تاريخ اللاعلم**».

من هذا المنطلق يعالج الأستاذ بوكدان سوشودولسكي[٢٢]، عضو أكاديمية العلوم بفارصوفيا (بولونيا)، القضية التي نحن بصددها، من منظور ماركسي. وفيما يلي ملخص آرائه في الموضوع: يرى سوشودولسكي أن **العلم ليس تاريخاً للحقيقة**، إذ لا وجود لتاريخ الحقيقة. فالحقيقة **لا تاريخ لها**، نعم يمكن أن يوجد تاريخ ما هو خطأ، ولكن ذلك ليس تاريخاً للعلم. وإذا كانت الأخطاء ذات أهمية كبرى في تطور العلم، فذلك، لا لأنها ليست الحقيقة، بل لأنها القوة المحركة للحقيقة. **ومن هنا كان من الضروري أن يهتم تاريخ العلم بالتعايش** (الالتقاء والاتصال) **الديالكتيكي للصواب والخطأ**، أي لا بد له من الاهتمام بمسلسل التطور والنمو الذي تنشأ فيه الحقائق انطلاقاً من الأخطاء، **تلك** الحقائق التي تصبح بدورها أخطاء تدفع إلى صياغة حقائق جديدة.

ولكن كيف يمكن أن يكون تاريخ العلم لا تاريخاً لـ «الحقيقة»، ولا تاريخاً لـ «الخطأ» بل تاريخ هذا وذاك معاً؟ عن هذا السؤال يجيب سوشودولسكي قائلاً: هذا ممكن إذا سلمنا بأن تاريخ العلم ليس هو تاريخ الآراء والنظريات العلمية، ولكن تاريخ النشاط العلمي الذي يمارسه الناس، وتاريخ وعيهم المرتبط بهذا النشاط. إن تاريخ العلم، بوصفه تاريخ الآراء والنظريات، سيكون مضطراً إلى توجيه أبحاثه دوماً، نحو الآراء والنظريات العلمية الصائبة، أي أنه سيقلص مجال النمو التاريخي للمعرفة بإقصائه من هذا المجال، وبكيفية تزداد صرامة، «الحقائق» التي اتضح اليوم أنها «خاطئة». ولذلك كان لا بد من صياغة مفهوم آخر لتاريخ العلم، مفهوماً يعتبر **تاريخ العلم تاريخاً للنشاط العلمي للإنسان، وفي الوقت ذاته تاريخاً لوعيه الذي يتشكل بواسطة هذا النشاط**.

إن العلم هو معرفة الواقع، هذا شيء واضح، ولكن معرفة الواقع لا تنشأ في الفكر البشري بواسطة كشف مباشر لبنيته (بنية الواقع). إن معرفة الواقع هي نشاط انساني، والنشاط الانساني هو رابطة خاصة بين الذات والموضوع، رابطة تتحوّل فيها الذات إلى

---

(٢١) Suzane Bachelard, «Epistémologie et histoire des sciences,» papier présenté à: *XII^e Congrès International d'histoire des sciences* (Paris: Librairie scientifique et technique: A Blanchard, 1970), tome I, p. 39.

(٢٢) Bagdan Suchodolski, «Les Facteurs du développement de l'histoire des sciences,» dans: Ibid., p. 27.

موضوع، ويتحوّل فيها الموضوع إلى ذات، وهذا يعني - في مجال معرفة الواقع - أن النشاط المعرفي يحول ويغير الواقع، وفي الوقت ذاته يحول ويغير الناس أنفسهم. **إن العلم هو من منشآت الفكر البشري، هذا صحيح، ولكن صحيح أيضاً أن الفكر البشري ذاته، هو بمعنى ما من المعاني، من منشآت العلم.**

من هذه الوجهة من النظر يصبح تاريخ العلم هو، في آن واحد، تاريخ النشاط المعرفي للإنسان وتاريخ وعيه. إن تاريخ العلم هو في آن واحد تاريخ المعرفة البشرية، وتاريخ الرجال الذين يتعلمون معرفة العالم. وهنا لا بد من توضيح: فالنشاط المعرفي للإنسان مفهوم واسع، قد يتسع حتى يشمل الفن والفلسفة والعلم وكل ما له طابع معرفي، فلا بد إذن من تحديد نوعية النشاط ونوعية الوعي عندما يتعلق الأمر بالعلم وحده. إن هذا التحديد المطلوب لا يمكن أن يكون نهائياً مطلقاً، لأن حدود العلم قد تغيرت خلال التاريخ. وهذا ما يطرح بدقة الصبغة التاريخية للعلم. **إن تاريخ العلم هو قبل كل شيء تاريخ فهم العلم،** تاريخ التمييز بينه وبين الأنواع الأخرى من وعي الإنسان ونشاطه المعرفي. وعليه، فإن تاريخ العلم، في إطار الحدود الخاصة بالعلم، وهي متغيرة تاريخياً، يضم بوصفه تاريخ النشاط العلمي للإنسان، كل ما يغذي هذا النشاط وينميه، كما يضم سيرورته (سريانه وإخفاقاته ونجاحاته).

هكذا، إذن، يصبح تاريخ العلم - الذي هو تاريخ نشاط الناس وتاريخ وعيهم المعرفي - ليس فقط تاريخ الآراء والنظريات التي يتألف منها العلم، بل أيضاً تاريخ الناس الذين يُنشؤون العلم والذين يكونهم العلم، فينشؤون حضارة علمية. إنه يصبح ليس فقط تاريخ معرفة الوجود، بل أيضاً تاريخ الوجود الذي يتعلّم الناس معرفته وتغييره.

ثامناً: طبيعة البحث الايبستيمولوجي وحدوده ومسألة المنهج

لقد أفضنا في الحديث عن علاقة الايبستيمولوجيا بالدراسات والأبحاث المعرفية الأخرى (نظرية المعرفة، الميتودولوجيا، فلسفة العلوم، تاريخ العلوم)، وتبين لنا من خلال ذلك مدى الاختلاف السائد في هذا الميدان بين المهتمين بهذا النوع من الدراسات والأبحاث، وهو اختلاف يرجع أساساً إلى اختلاف المنطلقات والمفاهيم والنظريات التي يتبنّاها هذا الباحث أو ذاك، مما يضفي على الأبحاث الايبستيمولوجية المعاصرة طابعاً ايديولوجياً واضحاً.

وبوسعنا تلخيص المناقشات السابقة بتركيزها حول ثلاث نقاط أساسية بالنسبة إلى موضوع هذا المدخل، **الأولى** تتعلق بطبيعة البحث الايبستيمولوجي، والثانية بحدوده، والثالثة تتناول مسألة المنهج:

١ - بخصوص طبيعة البحث الايبستيمولوجي (أينتمي إلى عالم العلم، أم إلى عالم الفلسفة) نشير بأن هناك من يرغب في قطع كل علاقة بين الايبستيمولوجيا والفلسفة...

(الفلسفة بوصفها تنظيراً وتعميماً وتركيباً)، استناداً إلى أن المعرفة العلمية هي وحدها المعرفة الحقيقية، وأن استقلال العلوم عن الفلسفة استقلالاً تاماً ومنذ عهد طويل، أصبح يستلزم حذف مصطلح «فلسفة العلوم» من القاموس الابيستيمولوجي حتى لا يختلط الأمر بفلسفات العلوم القديمة كـ «فلسفة الطبيعة» أو «فلسفة الحياة» أو «فلسفة التاريخ»، هذه الفلسفات التي كانت «تسطو» على بعض النتائج العلمية لترتكز عليها في تشييد منظومات فلسفية تأملية، تعبّر عن وجهات نظر أصحابها، أكثر مما تعبّر عن الواقع الموضوعي . . . إن الابيستيمولوجيا في نظر هؤلاء لا يمكن أن تصبح علماً، جديراً بهذا الاسم، إلا إذا تحرّرت نهائياً من جذورها الفلسفية والتزمت الموضوعية التامة، وارتكزت على المنهاج العلمي ذاته، المنهاج الذي يقوم أساساً على المراجعة والاختبار والتحقيق، الشيء الذي يمكنها من الاندماج في العلم والتحلي بخصائصه ومميزاته.

إن هذا الاتجاه، اتجاه وضعي تماماً، ينتمي بشكل أو بآخر إلى التجريبية المنطقية التي تحدثنا عنها قبل، والتي تقصر مجال البحث الابيستيمولوجي في لغة العلم. إن موضوع العلم، في نظرها، هو «أشياء الطبيعة»، أما موضوع الابيستيمولوجيا فهو «الخطاب العلمي»، أي اللغة العلمية بوصفها منظومة من الرموز يتألف بعضها مع بعض وفق جملة من القواعد، وفي استقلال تام عمّا يمكن أن ترمز إليه. لقد مزج هذا الاتجاه، كما أشرنا إلى ذلك قبل بين نزعة ماخ الظاهراتية Phénoménisme وبين المنطق الصوري الحديث، مزجاً يهدف إلى التعبير عن الحقائق العلمية بواسطة رموز المنطق الرياضي قصد صياغتها بدقة ووضوح، ورغبة في تجنب التعابير الكلامية المعتادة، التي كثيراً ما يداخلها الحشو ويكتنفها الغموض. وبهذه الطريقة استطاعت التجريبية المنطقية والمدارس المتفرعة عنها أن تدخل إلى ميدان الابيستيمولوجيا لغة المنطق الرمزي، مما أضفى عليها مزيداً من الدقة والوضوح على الأقل في الميادين التي تختص هذه المدارس بالبحث فيها.

وإلى جانب هذه النزعة الوضعية ـ المنطقية المنتشرة في البلاد الانكلوسكسونية خاصة تقوم اتجاهات ابيستيمولوجية أخرى تريد ان تجعل من الابيستيمولوجيا بكيفية أو بأخرى، البديل العلمي للفلسفة التقليدية، أو على الأقل النظرية العلمية المشروعة في المعرفة. وإذا كانت هذه الاتجاهات تؤكد في الغالب لاوضعيتها لعدم حصرها مجال البحث الابيستيمولوجي في «التحليل المنطقي» للغة العلمية من جهة ولاهتمامها بنقد مبادىء العلوم وفروضها ونتائجها نقداً «ديالكتيكياً» من جهة أخرى، الشيء الذي يجعلها تلتقي بشكل أو بآخر مع النزعة التطورية، فإنها مع ذلك تبقى ذات طابع وضعي من حيث إنها تعتبر المعرفة العلمية وحدها المعرفة الحقيقية. وبالتالي، تعتقد في «لامشروعية» أية نظرية تحاول أن تجمع شتات الحقائق التي تكشف عنها العلوم المختلفة في منظومة واحدة تكون بمثابة رؤية علمية شاملة وعامة عن الكون والانسان، عن الطبيعة والمجتمع والتاريخ ـ ومن هنا يمكن أن نتبين الوجه الايديولوجي في الأبحاث الابيستيمولوجية الحديثة والمعاصرة وهو وجه ستتضح لنا فيما بعد، بعض قسماته وتجاعيده.

٢ ـ أما بخصوص حدود البحث الايبستيمولوجي وفي إطار هذه النزعة الوضعية ذاتها، فيمكن التمييز بين اتجاه ضيق مغلق، واتجاه مرن متفتح، بين دعاة الايبستيمولوجيا الخاصة (أو الداخلية) وبين أنصار الايبستيمولوجيا العامة.

إن أصحاب الاتجاه الأول ينطلقون في الغالب من كون القضايا والمشاكل المبدئية أو المنهجية، التي تخص علماً من العلوم، قد لا تخص بالضرورة علماً آخر، بل إن العكس، في نظرهم، هو الصحيح، فمشاكل الرياضيات ليست هي مشاكل الفيزياء، ومشاكل البيولوجيا ليست هي مشاكل العلوم الانسانية. إن محاولة الجمع بين قضايا العلوم المختلفة في اطار أو نسق ايبستيمولوجي واحد ـ هو في نظرهم ـ عمل فلسفي قد لا يستفيد منه العلماء كثيراً في حل مشاكلهم الدقيقة الخاصة، وإنما يفتح الباب للاستغلال الفلسفي للعلم، ولذلك فهم إذ يحرصون على أن يحتفظوا للايبستيمولوجيا بطابعها العلمي «الخالص» يلحّون على عدم التقيّد بأية نظرة ايبستيمولوجيا عامة، فكأن الايبستيمولوجيا في نظرهم لا تختلف عن الميتودولوجيا إلّا بقدر ما يكون التحليل أكثر عمقاً والنقد أكثر صرامة.

أما أنصار الايبستيمولوجيا العامة فهم يرون أن هذه النزعة العلمية الضيقة لا بد أن تصطدم بمشاكل تفرض عليها توسيع دائرتها، فالمشاكل التي تعترض علماً من العلوم، كثيراً ما تكون هي نفسها التي تعترض علماً آخر، علاوة على أن العلوم نفسها متداخلة متشابكة تقوم بينها علاقة لا يمكن تجاهلها، بل إن الاتجاه السائد، الاتجاه الذي يفرض نفسه، هو التركيز على وحدة العلوم وتوقف بعضها على بعض، فالفيزياء مثلاً أصبحت مندمجة في الرياضيات، والكيمياء مرتبطة أشد الارتباط بالفيزياء والرياضيات معاً، مثلما أن البيولوجيا ملتحمة إلى حد كبير بالكيمياء... أما العلوم الانسانية فإن فصل بعضها عن بعض فصلاً تهائياً ليس سوى عملٍ تعسفي لا يساعد فقط على تقدم المعرفة البشرية في الميدان الانساني. لقد أصبحت وحدة العلوم حقيقة واقعية، ويكفي أن ننظر إلى العلوم الجديدة التي «تنبت» باستمرار في تخوم العلوم القديمة، مثل البيولوجيا الكيميائية، والفيزياء الرياضية وعلم النفس البيولوجي، وعلم النفس الاجتماعي، وعلم النفس البيداغوجي.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن معالجة القضايا والمشاكل الايبستيمولوجية الخاصة بكل علم لن تكون مثمرة إلّا إذا تمّ تحليلها والنظر إليها من عدة زوايا. إن المعالجة المنطقية المحض وحدها لا تكفي، بل لا بد من اللجوء إلى علم النفس وعلم الاجتماع وتاريخ العلوم. وبكيفية عامة فإن الايبستيمولوجيا في نظر هؤلاء، لا يمكن أن تصبح علماً قائم الذات، مستقل الكيان إلّا إذا استندت على مبدأ «وحدة العلوم»، الشيء الذي سيمدها بموضوع خاص ويجعلها تتوفر على درجة ما من التعميم... وقديماً قيل «لا علم إلّا بالكلي».

٣ ـ وإلى جانب هذا الاختلاف حول حدود البحث الايبستيمولوجي من حيث الاتساع أو الضيق (أي حدود الموضوع) ـ هناك اختلاف آخر بين الباحثين الايبستيمولوجيين حول نوعية التحليل (أي اختلاف حول المنهج). ذلك لأنه لما كانت الايبستيمولوجيا هي بالتعريف دراسة مبادىء العلوم وفروضها ونتائجها... دراسة نقدية... فإن الدراسة يمكن أن تتناول

العلوم، كما هي في مرحلة ما من مراحل تطورها، أي دون النظر إلى تاريخها، ـ كما يمكن أن نتناولها من خلال سياقها التاريخي، التطوري. فنكون ـ هكذا أمام نوعين من الدراسة: دراسة سانكرونية Synchronique قائمة على التزامن ودراسة دياكرونية Diachronique قائمة على التطور، وبعبارة بياجي، يمكن التمييز بين منهج التحليل المباشر ومنهج التحليل التكويني.

إن منهج التحليل المباشر هو المفضّل عند أصحاب الوضعية المنطقية التي تعنى بالتحليل المنطقي للغة ـ كما أنه منهج سار عليه بعض العلماء الآخرين من أمثال هنري بوانكاريه. فلقد اهتم بوانكاريه بعدة قضايا ابيستيمولوجية، فدرس العلاقة بين الرياضيات والمنطق، وطبيعة الاستدلال الرياضي والعلاقة بين المكان الهندسي والمكان الحسي، وبحث في القيمة الموضوعية للعلم... تناول هذه المسائل كلها وأمثالها دون الرجوع إلى ماضيها أو مراحل تطورها بل اقتصر على تحليلها ومناقشتها ونقدها، كما كانت في عصره.

وإذا كان المنهج التحليلي المباشر قد لقي رواجاً كبيراً عند كثير من العلماء، وبالخصوص عند أصحاب النزعة الوضعية، فإن المنهج الثاني، المنهج التاريخي والتكويني قد احتفظ بأهميته عند علماء آخرين، خاصة ذوي النزعة الفلسفية منهم.

والواقع أن الدراسة النقدية للعلوم تحتاج، لكي تكون دقيقة وشاملة إلى الرجوع إلى ماضي العلم ذاته، خصوصاً والموقف هنا يتطلب في أحيان كثيرة عقد مقارنات بين الأسس والمفاهيم القديمة، والأسس والمفاهيم الجديدة. إن المعرفة، سواء كانت علمية أو فلسفية أو «عامية» هي ذات طبيعة تاريخية دوماً. والابيستيمولوجيا التي تريد أن تكون نظرية علمية في المعرفة لا بد لها من تاريخ العلم، تدرسه، لا لذاته، كما يفعل المؤرخ، بل من أجل الاسترشاد به والاستفادة منه في فهم المشاكل المطروحة في الحاضر، لأن الجديد لا يفهم إلا بالمقارنة مع القديم، والحاضر لا يتصوّر إلا بالماضي.

وبعد، فلعل القارىء يتساءل، بعد هذا العرض العام الذي تناولنا فيه علاقة الابيستيمولوجيا بالأبحاث المعرفية الأخرى، قائلاً: وما هي الابيستيمولوجيا بالضبط؟ وبإمكاننا أن نجيب قائلين: إنها كل تلك الأبحاث المعرفية، منظوراً إليها من زاوية معاصرة، أي من خلال المرحلة الراهنة لتطور الفكر العلمي الفلسفي. إن الابيستيمولوجيا هي «علم المعرفة». وبما أن المعرفة هي علاقة بين الذات العارفة والموضوع الذي يراد معرفته، فإن الابيستيمولوجيا هي «العلم» الذي يهتم بدراسة هذه العلاقة التي هي بمثابة جسر يصل الذات بالموضوع، والموضوع بالذات، بل جسر يخلق الذات من خلال انفعالها بالموضوع ويخلق الموضوع من خلال فعل الذات فيه.

إن هذا التأثير المتبادل والمستمر بين الذات والموضوع يجعل العلاقة بينهما (وبالتالي المعرفة) عبارة عن عملية تاريخية متسلسلة، تتطور وتنمو بتطور ونمو وعي الانسان من خلال نشاطاته المختلفة، وفي مقدمتها نشاطه العلمي.

إن الانسان يبني معرفته بهذا العالم من خلال نشاطه العملي والذهني. والبناء الذي يقيمه الإنسان بواسطة هذا النشاط هو ما نسميه العلم ـ أو المعرفة. أما فحص عملية البناء نفسها (تتبع مراحلها، نقد أسامها، بيان مدى ترابط أجزائها، محاولة الكشف عن ثوابتها، صياغتها صياغة تعميمية، محاولة استباق نتائجها... الخ)، فذلك ما يشكل موضوع الابستيمولوجيا.

ومن هنا يتجلّى لنا مدى ارتباط الابستيمولوجيا بالأبحاث المعرفية التي أشرنا إليها، ومدى تميزها عنها، في آن واحد:

ـ هي مرتبطة بالمنطق من حيث إنها كالمنطق تدرس شروط المعرفة الصحيحة. ولكنها تختلف عنه من حيث إن المنطق يعنى بصورة المعرفة فقط، في حين أنها تهتم بصورة المعرفة ومادتها معاً، وبالأخص بالعلاقة القائمة بينهما.

ـ وهي مرتبطة بالميتودولوجيا من حيث إنها تتناول مناهج العلوم، ولكن لا من الزاوية الوصفية التحليلية وحسب، بل أيضاً، وبالأخص، من زاوية نقدية وتركيبية.

ـ وهي مرتبطة بنظرية المعرفة بمعناها العام من حيث إنها تدرس طرق اكتساب المعرفة وطبيعتها وحدودها، ولكن لا من زاوية التأمل الفلسفي المجرد، بل من زاوية فحص المعرفة العلمية والتفكير العلمي فحصاً علمياً ونقدياً قوامه الاستقراء والاستنتاج معاً.

ـ وهي وثيقة الصلة بتاريخ العلوم من حيث إنها تدرس تاريخ العلم، ولكن لا لذاته، بل من زاوية كونه مسلسلاً لنمو الفاعلية البشرية، الفكرية خاصة، تلك الفاعلية التي هي عبارة عن تحقق امكانيات الذات في فهم العالم وتغييره، وبالتالي تحقق امكانيات وعي الذات بنفسها وبقدراتها وحدودها.

ـ إنها «إذن فلسفة للعلم، تتلون بلون المرحلة التي يجتازها العلم في سياق تطوره وتقدمه، ومن هنا طابعها العلمي، وبلون الفلسفات التي تقوم خلال كل مرحلة، أو عقبها مباشرة، والتي تحاول كل منها استغلال العلم لفائدتها، ومن هنا طابعها الايديولوجي، باعتبار أن الفلسفة هي الصيغة الايديولوجية الرئيسية التي تعكس بشكل مجرد، روح العصر وطبيعة الأوضاع العامة السائدة فيه.

لنقل إذن إن الابستيمولوجيا تدرس وتنقد **وعي الانسان بالعالم** ـ بما فيه هو نفسه ـ وعيه المؤسس على أكبر قدر ممكن من الموضوعية، ولكن الخاضع، في الوقت ذاته، لتاريخية الإنسان كفرد في مجتمع، الشيء الذي يجعل وعيه انعكاساً ايديولوجياً لواقعه العام. ومن هنا تلك الصيغة الايديولوجية التي لا بد أن يتضمنها، صراحة أو ضمناً، كل بحث ابستيمولوجي.

بقيت كلمة أخيرة حول عنوان الكتاب. لقد كان عنوانه في الأصل **مدخل إلى الابستيمولوجيا** ولكننا ارتأينا في آخر لحظة تسميته: **مدخل إلى فلسفة العلوم**، نظراً لثقل

المصطلح الأول على اللسان العربي. هذا والتوضيحات السابقة كفيلة بإزالة كل لبس في هذا الصدد، فضلاً عن أن العنوان يتضمن توضيحاً: فالكتاب **دراسات ونصوص في الابستيمولوجيا المعاصرة**.

القسم الأول

تطور الفكر الرياضي والعقلانية المعاصرة

تقديـم

لا يتعلق الأمر هنا بالتاريخ للرياضيات ككشوف وانجازات . . . وإن كنا سنضطر في سياق العرض، إلى الإشارة إلى هذا الكشف أو ذاك، لما كان له من شأن كبير في التطور اللاحق للفكر الرياضي كله.

إن ما يهمنا في هذا القسم هو تتبع مسار التفكير الرياضي ذاته: كيف يفكر الرياضيون، وفيمَ يفكرون؟ وبما أن الرياضيات قد ظلّت على الدوام ـ وما زالت ـ النموذج الأعلى للمعقولية، فإن الأمر يتعلق بكيفية عامة بتتبع تطور التفكير العقلاني، من أفلاطون وأرسطو إلى العصر الحاضر، وذلك من خلال تطور الفكر الرياضي موضوعاً ومنهاجاً، عبر عملية تطورية متسلسلة، عامة ومتواصلة.

* * *

يقال عادة: يتميز علم ما من العلوم، عن بقية العلوم، بموضوعه ومنهاجه، وأن طبيعة الموضوع تحدد طبيعة المنهاج. وهذا صحيح بكيفية عامة، ولكنه غير صحيح صحة مطلقة. وإذا شئنا النظر إلى تطور الرياضيات من هذه الزاوية أمكننا القول: كانت الرياضيات الكلاسيكية تتميز بـ «التمييز» بين الموضوع والمنهاج، وأن الرياضيات الحديثة تتميز، عن الرياضيات الكلاسيكية، وعن بقية العلوم، بدمج الموضوع في المنهاج، والمنهاج في الموضوع.

موضوع الرياضيات في الفكر الرياضي الكلاسيكي هو: «المقادير القابلة للقياس»، أي المقادير الكمية التي تصنف صنفين: كم منفصل (الحساب) وكم متصل (الهندسة). وكلاهما ـ في التطور الفلسفي الكلاسيكي ـ يرجع إلى معطيات أولية، أي إلى أفكار فطرية تشكل «المحتوى» الخاص بالعقل.

والمنهاج الرياضي ـ في الفكر الرياضي الكلاسيكي دوماً ـ كان يقوم، نظراً لطبيعة الموضوع على الحدس والاستنتاج: حدس «الحقائق البديهية» و «الأفكار الفطرية» واستنتاج

حقائق جديدة من تلك. الحدس يمدّ الرياضيات بعنصر الخصوبة، والاستنتاج يمنحها التماسك المنطقي.

ظلت الرياضيات على هذا الشكل ـ ومعها التفكير الفلسفي العقلاني كله ـ إلى أن أدى نموها الداخلي إلى قيام «أزمة» عرفت بـ «أزمة الأسس»، وهي في الحقيقة والواقع أزمة نمو، أزمة تحقيق الوحدة العضوية للرياضيات: وحدة الموضوع، ووحدة المنهاج: رد الكم المتصل إلى الكم المنفصل، والاستغناء بالاستنتاج عن الحدس.

لكن هذا النزوع نحو الوحدة سرعان ما اصطدم بعقبات خطيرة:

ـ فمن جهة أدى التطور بالرياضيات إلى تجاوز ما يقبل القياس إلى ما لا يقبله وأصبحت تدرس الكم والكيف معاً، فتعددت بذلك فروع الرياضيات، وأصبح التعدد يهدد الوحدة، والانفكاك يطغى على التماسك. فتعددت أنواع «الكائنات» الرياضية، منها ما يمكن أن يوجد له مقابل في الواقع، ومنها ما هو من نسج الخيال المحض.

ـ ومن جهة أخرى ساد الجبر على الهندسة، وطغى المنطق على الجبر، وأصبحت الرياضيات مهدّدة بالعقم. إن المنطق، كما يشيّده أرسطو، يقوم على القياس. والقياس الأرسطي، كما لاحظ الفلاسفة منذ قرون، قياس أو استدلال غير منتج: لأن النتيجة متضمنة في المقدمات، فهل ستقبل الرياضيات التي امتازت دوماً بالخصوبة، بهذا المصير الذي يجعل منها مجرد عبارات تكرارية أو «تحصيل حاصل»؟

لقد كان رد الفعل قوياً، ومع رد الفعل انقسام وفرقة. انقسم الرياضيون إلى فريقين كبيرين. حدسيون ومنطقيون... لكل لغته الخاصة، فصعب التفاهم، بل ازداد سوء التفاهم واستفحل الخلاف. وكان ما يسمى بـ «أزمة الأسس».

* * *

كانت «أزمة النمو» في بدايتها، مع بداية هذا القرن. وتلك في الحقيقة البداية المكتملة للرياضيات الحديثة التي بلغت الآن مرحلة النضج... مرحلة تحققت فيها الوحدة العضوية بين الموضوع والمنهاج، بين الأصول والفروع... ومع قيام الرياضيات الحديثة بدأت ارهاصات لعقلانية جديدة تختلف عن العقلانية الكلاسيكية اختلاف الرياضيات المعاصرة عن الرياضيات القديمة.

ـ لم تعد الرياضيات تدرس ما يسمى بـ «الكائنات» الرياضية. لقد اتضح الآن للرياضيين أن «الكائن» الرياضي «شيء» لا وجود له، وبالتالي أصبح الحديث عن «أزمة الأسس» نوعاً من اللغو... لقد تبين أن مشكلة الأسس مشكلة زائفة! لأن البحث عن الأسس بالمعنى التقليدي للكلمة معناه البحث عن «محتوى» عقلي ثابت!

لم يعد موضوع الرياضيات هو تلك «الحقائق البديهية» التي جعلت منها العقلانية الكلاسيكية مرتكزها، و «عملتها الصعبة»، إن موضوع الرياضيات هو العلاقات، وبكلمة

أدق «البنيات». . . وبالتحول من «الكائنات» إلى البنيات صار واضحاً أن فروع الرياضيات ليست فروعاً مستقلة، وإنما هي أشكال من البنيات تجمعها خصائص جوهرية مشتركة.

ولم يعد المنهاج الرياضي منهاجاً حدسياً أو استنتاجياً بالمعنى القديم لكلمة استنتاج بل أصبح عبارة عن جملة من الاجراءات والتحويلات تجري على تلك البنيات. . . لم يعد الاستنتاج عبارة عن الكشف عمّا هو متضمن في المقدمات. . . بل «هو جملة اجراءات تجري على معطى ما لاستخلاص الجديد منه. فليست المسألة مسألة تحصيل حاصل. . . أو مجرد تكرار. . . بل هي «تحصيل حاصل جديد» من «حاصل قديم» إذا صح هذا التعبير.

نعم بقيت العلاقة بين المنطق والرياضيات وطيدة جداً. . . ولكن، لا بالمعنى الذي فهمت به هذه العلاقة في أوائل هذا القرن. لم تعد الرياضيات ترتد إلى المنطق، وإنما «أصبح المنطق مجرد لغة يستعملها الرياضيون، تماماً مثلما يستعمل الناس لغة من اللغات قبل أن تصاغ قواعدها النحوية»، وبذلك حلّت مشكلة الصراع بين المنطق والرياضيات، لقد امتصت الرياضيات المنطق، منطق الفلاسفة، وأصبح المنطق، إن لم يكن كلّه فجلّه، «نظرية في البنيات المنطقية، أي نظرية في بعض البنيات الجبرية».

وهكذا، فبواسطة البنيات الأولية حققت الرياضيات وحدتها: وحدة الموضوع، ووحدة المنهاج، ووحدة الموضوع والمنهاج معاً. لقد تمكّنت أخيراً من تحقيق وحدة الفكر وصياغة لغة مشتركة لمختلف البنيات، إنه مظهر من مظاهر التقدم الرائع الذي حققه الفكر البشري في هذا القرن.

ومع التحوّل من «الكائنات» إلى البنيات، وبامتصاص الرياضيات للمنطق، أصبحت الفلسفة الرياضية من اختصاص الرياضيين أنفسهم. إنه تحول سد النوافذ في وجه الفيلسوف. . . وأصبح صعباً عليه الاطلالة على ما يجري في المحراب الرياضي إلاّ إذا دخل البيوت من أبوابها. . . إلاّ إذا تحوّل هو نفسه إلى عالم رياضي.

ومع ذلك، بل بسبب من ذلك، أخذ الفكر الفلسفي يتلمس الحل لكثير من مشاكله القديمة بفضل منجزات الفكر العلمي. . . وأصبح أمام نظرية في المعرفة جديدة وعلمية تحققت فيها ـ أو تكاد ـ وحدة الرؤية. فالتقت نتائج التقدم الرياضي مع نتائج التقدم في ميادين أخرى، كالفيزياء وعلم النفس وعلم الاجتماع. . . وأصبح التأويل الذي يعطيه الرياضي لتشكل المعرفة قريباً جداً من ذلك الذي يقدمه العالم الفيزيائي، والعالم السيكولوجي. . . وبذلك أخذت تتحقق، بشكل أعمق وأشمل، وحدة الفكر البشري المبدع الخلاّق.

تلك باختصار القصة التي تحكيها باقتضاب فصول هذا الجزء الأول من الكتاب، قصة محورها الفكر الرياضي وتطوره. . . وسيحكي، الجزء الثاني نفس القصة، ولكن من خلال محور آخر. . . محور الفكر العلمي ـ الفيزيائي ـ وتطوره. وأملنا أن نتمكّن في المستقبل من حكاية نفس القصة، ولكن من محور أكثر التواء وأشد تعقيداً. . . محور الانسان وعلوم الانسان.

الفصل الأول

الرياضيات الكلاسيكية (*)

أولاً: الهندسة والحساب عند المصريين والبابليين

يمكن القول بصفة عامة ـ وفي حدود معرفتنا الحالية ـ إن الرياضيات، كما نعرفها اليوم، أي بوصفها علماً نظرياً محضاً، إنما ظهرت عند اليونان، وخاصة بعد فيثاغورس ومدرسته (القرن السادس قبل الميلاد). أما الأساس الذي بنى اليونان عليه صرحهم الرياضي النظري فهو، بدون شك، الرياضيات التطبيقية التي عرفتها الحضارات الشرقية القديمة، خاصة منها الحضارة المصرية والحضارة البابلية.

لقد نشأ علم المساحة والهندسة والحساب في مصر الفرعونية تحت ضغط الحاجات الاقتصادية والاجتماعية. إن فياضانات وادي النيل دفعت المصريين القدماء إلى ابتكار طرق وأساليب هندسية لتحديد مساحات الحقول وتنظيم الزراعة والري، كما أن اهتمامهم ببناء الأهرامات جعلهم يتقدمون في استعمال الخطوط والحساب. وتدل المعلومات المتوفرة حالياً على أن المصريين القدماء كانوا يعرفون كيف يستخرجون مساحات بعض الأشكال الهندسية، حتى تلك التي تتطلب القيام بعمليات معقدة نوعاً ما (مساحة نصف الكرة، حجم جذع الهرم ذي القاعدة المربعة الشكل، المثلث المتساوي الساقين، خاصية الوتر في المثلث القائم الزاوية... الخ)، كما أنهم كانوا يستعملون الكسور، خاصة منها التي بسطها العدد واحد (كانوا يردون الكسور كلها إلى كسر بسطه العدد واحد) ويستخدمون العمليات الأربع المعروفة (تغلبوا على صعوبات الضرب والقسمة بردهما على التوالي إلى الجمع والطرح، وكانوا يرمزون للجمع بساقين تتجهان إلى الأمام، وإلى الطرح بساقين تتجهان إلى وراء وللتساوي بعلامة =)، هذا علاوة على تمكنهم من حل معادلات من الدرجة الأولى.

(*) نعني بالرياضيات الكلاسيكية، الرياضيات منذ نشأتها، وخاصة منذ اليونان، إلى ظهور الهندسات اللاأوقليدية في منتصف القرن التاسع عشر.

وتدل بعض الأبحاث الجديدة أن الرياضيات كانت متقدمة عند البابليين. فلقد استعملوا الحساب والهندسة في دراسة حركات الكواكب والنجوم وقياس الزمن، وفي تنظيم الملاحة والفلاحة وشؤون الري، وتوصلوا إلى قياس النسبة بين محيط الدائرة وقطرها ـ قياساً تقريبياً ـ وإلى حل معادلات من الدرجة الثانية. بل إن بعض الأبحاث الأحدث عهداً تشير إلى تقدم كبير في هذا المجال، خصوصاً عندما تبين أنهم كانوا قد توصلوا إلى حل معادلة من الدرجة الثالثة.

كل ذلك يدل على أن المصريين والبابليين قد عرفوا أو ابتكروا كثيراً من الموضوعات والصيغ الرياضية، وقاموا باستدلالات عالية مستعينين بالرسوم الهندسية، مما يوحي بأنهم كانوا يمارسون البحث الرياضي النظري إلى جانب التطبيقات الحسابية والهندسية التي برعوا فيها إلى حد كبير. ولكن ما وصلنا من هذه الممارسات الرياضية على الصعيد النظري قليل جداً، فلسنا نتوفر إلاّ على نتف قليلة مبعثرة وحالات جزئية لا يضمها نسق متكامل، ولكن ليس من المستبعد ـ كما يقول بعض الباحثين ـ أن تكون وراءها نظريات وصروح رياضية منسقة لم نتوصل إليها.

ثانياً: الرياضيات النظرية عند اليونان

إن هذا الضعف الذي لاحظناه في الجانب النظري في الرياضيات المصرية والبابلية قد يعكس واقعاً حقيقياً، وقد يعكس فقط نقص معلوماتنا الحالية، الشيء الذي يبرر ـ على كل حال ـ القول بأن اليونان كانوا أول من اتخذ من الرياضيات علماً نظرياً بحتاً.

نعم. إن اليونان لم يبتكروا كل شيء، لم ينشئوا الرياضيات النظرية من عدم، بل إنهم نقلوا معلوماتهم الرياضية الأولى من المصريين والبابليين وشعوب الشرق الأخرى (من المعروف أن فيثاغورس وأفلاطون قد زارا بلاد الشرق وتعلما فيها، كما ترى ديمقريطس وتعلّم في مدارس شرقية، بل إن مدارس ملطية وساموس اللتين تعلم فيهما، على التوالي، كل من طاليس وفيثاغورس، كانت مدارس شرقية)، ولكن مع ذلك، هناك فرق شاسع بين الرياضيات التطبيقية التي وصلتنا من حضارات الشرق، والرياضيات النظرية التي ورثناها عن اليونان. هناك انفصال بينهما، أو على الأقل فراغ في معلوماتنا الحالية يصعب ملؤه الآن.

يتجلّى هذا الانفصال، أو القطيعة، في ظهور مفاهيم أساسية لم تكن موجودة من قبل، مفاهيم قام، ولا يزال يقوم، عليها البناء الرياضي النظري. هذا بالإضافة إلى استعمال طرق جديدة في التفكير كـ التجريد والتعميم والتحليل والتركيب، مما كانت نتيجته نشوء تصور جديد للعلم الرياضي يختلف اختلافاً جذرياً عن التصورات التي تربط الحساب والهندسة بالتطبيقات العملية والحاجات الاجتماعية. لقد نقل اليونان الممارسة الرياضية من عالم الحس إلى عالم العقل، من التطبيق العملي إلى التفكير الميتافيزيقي، فجعلوها تتناول ما هو ثابت وأبدي، لا ما هو متغير ومؤقت. لقد كانت مهمة الرياضيات عندهم جذب النفس نحو الحقيقة الخالدة، وإمدادها بروح فلسفية تحملها على النظر إلى أعلى، لا إلى أسفل، وتجعل

الفكر يتعوّد التعامل مع المجردات بقطع النظر عن محاكياتها الحسّية. يقول أفلاطون في جمهوريته: ليست مهمة العلم الرياضي خدمة التجار في عمليات البيع والشراء، كما يعتقد الجهّال، بل تيسير طريق النفس في انتقالها من دائرة الأشياء الفانية إلى تأمل الحقيقة الثابتة الخالدة.

وإذن، فموضوع الرياضيات، عند اليونان، ماهيات ذهنية تتمتع بوجود موضوعي مستقل وكامل (مثل أفلاطون). فكما أن العدد الصحيح تصور ذهني خالص، من الصعب ربطه بالمحسوسات، فكذلك الأشكال الهندسية يجب أن تكون هي الأخرى تصورات ذهنية خالصة، أي ماهيات عقلية. أما الأشكال الحسية فليست سوى رسوم تقريبية تحاول أن تحاكي تلك الكائنات الهندسية العقلية التي لا تحتاج في وجودها، إلى أن تتصور كأشكال حسية. إن المثلث والمربع والدائرة... الخ، كائنات كاملة في ذاتها، أما صورها الحسية فيعتريها النقص دوماً: فالمثلث المرسوم على الأرض أو الورق، مثلاً، لا بد أن يلحقه نقص، فقد لا يكون مستوياً تمام الاستواء، وقد لا تكون أضلاعه مستقيمة تمام الاستقامة. وعلى العكس من ذلك المثلث القائم في الذهن، فهو كامل من جميع الوجوه. إن العلاقة بين الشكل الهندسي كما هو في الذهن، وبين الشكل نفسه كما يرسم على الورق، كالعلاقة بين الفكرة والكلمة. فكما أن الكلمة لا تعبر عن الفكرة تعبيراً كاملاً تاماً، فكذلك الأشكال الهندسية الحسية، فهي لا تعبّر تمامَ التعبير عن الكائنات الهندسية، كما هي موجودة في عالم الذهن.

غير أن تمسك اليونان بصفة الكمال في الكائنات الرياضية قد جعلهم يقتصرون على دراسة الموضوعات التي يمكن اضفاء هذه الصفة عليها، دون غيرها. ولذلك أبعدوا عن مجال اهتمامهم الموضوعات الرياضية الأخرى التي يكتنف تصورها بعض التشويش والنقص. وهكذا اقتصروا في مجال الهندسة، مثلاً، على الأشكال التي يمكن رسمها بواسطة البيكار والمسطرة. فحصروا أبحاثهم في الهندسة المستوية، ولم يهتموا بالهندسة الفراغية إلاّ في وقت متأخر. وإذا كانوا قد استعملوا في انشاءاتهم الهندسية، القطع المخروطي والأسطواني، وتعرّفوا فعلاً على الأشكال المتخيلة، فإنهم لم يولوا هذه كبير عناية، تجنباً لإقحام أشياء غير واضحة ولا كاملة في عملهم النظري هذا.

من هنا يتضح مغزى اقتصار اليونان على المسطرة والبيكار في انشاءاتهم الهندسية: لقد كانت رغبتهم الوحيدة تشييد صروح بسيطة ومنظمة، إن البساطة والتناسق والجمال هي - كما يقول بوترو[1] - أهم ما كان يستهوي الرياضي اليوناني، وهي صفات كانوا يعتبرونها ذاتية في

---

(١) اعتمدنا في كتابة معظم فقرات هذا الفصل على المراجع الأساسية التالية:

Pierre Léon Boutroux, *L'Idéal scientifique des mathématiciens dans l'antiquité et les temps modernes*, nouvelle éd., nouvelle collection scientifique (Paris: Presses universitaires de France, 1955); Léon Brunschvicg, *Les Etapes de la philosophie mathématique*, nouveau tirage augmenté d'une préface de Jean-Toussaint Desanti (Paris: A. Blanchard, 1972), et François Le Lion-

الموضوعات الرياضية. فالجمال يوجد في المثلث كفكرة، لا فيما يضفيه عليه الباحث، ولا فيما يجده هذا الأخير من لذة أثناء اشتغاله به. وكذلك الشأن في الدائرة والمضلعات المنتظمة. ولقد ذهب بهم الأمر إلى حد اعتبار هذه الأشكال الجميلة المتناسقة من صنع الله، فلم يتردد أفلاطون في ادخال الجمال الهندسي في ميدان الخلق الإلهي: فالله في نظره صنع العالم من العناصر الأربعة (التراب والماء والهواء والنار) بواسطة الأشكال الهندسية المنتظمة. ولذلك اقتصروا على دراستها وحدها، وانصرفوا إلى تأمل جمالها وخصائصها.

وأما في مجال الاعداد فقد صرفوا اهتماماتهم، بكيفية خاصة، وتحت تأثير نفس الدافع، إلى البحث في خواص بعض الأعداد، كالأعداد المتحابة والأعداد الكاملة. والعدد الكامل عندهم هو العدد الذي يساوي مجموع قواسمه مثل العدد 28 فهو يساوي مجموع الأعداد التي يقبل القسمة عليها قسمة صحيحة، وهي 1, 2, 4, 7, 14 (= 28) والعدد 10 كامل لأنه يشتمل على نفس العدد من الأعداد الفردية والأعداد غير الأولية[٢]، بالإضافة إلى أنه يساوي مجموع مجموع الأعداد الأربعة الأولى 1 + 2 + 3 + 4 = 10. أما الأعداد المتحابة فهي التي يساوي كل منها مجموع قواسم الأخرى. فالعددان 220 و280 متحابان، لأن مجموع قواسم الأول يساوي الثاني، ومجموع قواسم الثاني يساوي الأول. (220 + 1 + 2 + 4 + 71 + 142 وهي قواسم العدد 284. وهذا الأخير يساوي 1 + 2 + 4 + 5 + 10 + 11 + 20 + 22 + 44 + 55 + 110 وهي قواسم العدد 220.

مثل هذه الأبحاث التأملية هي ما كان يشغل اهتمام الرياضيين اليونان. لقد أغرموا بجمال هذه الاكتشافات وتناسق هذه العلاقات، فأضفوا على الأعداد والأشكال طابعاً سحرياً (الفيثاغوريون خاصة). ولذلك كان انزعاجهم شديداً عندما اكتشفوا أعداداً «غريبة» لا تقبل القياس Nombres incommensurables وهي الأعداد التي عرفت منذ ذلك الوقت بالأعداد «اللاعقلية» Nombres irrationnels أي التي لا يتصورها العقل تمام التصوّر، (وقد سمّاها العرب بـ الأعداد الصماء)، وذلك في مقابل «الأعداد العقلية» N. rationnels التي يتصورها العقل كامل التصور (وقد سمّاها العرب بالأعداد المنطوقة، لأنه يمكن النطق بها بتمامها. وتسمّى اليوم بـ الأعداد الجذرية). وقصة هذه الأعداد الصماء هي أن فيثاغورس عندما كان يطبق نظريته المعروفة، على مختلف الأشكال التي تنطبق عليها، أي على المثلثات القائمة الزاوية (تقول نظرية فيثاغورس: إن مربع الوتر في المثلث القائم الزاوية يساوي مجموع مربعي الضلعين الآخرين)، اكتشف أن وتر المثلث القائم الزاوية يكون في بعض الحالات غير قابل للقياس بوحدات صحيحة. فإذا كان لدينا مثلث قائم الزاوية ضلعاه المتجاوران يساويان على التوالي 3، و4، فإن مربع وتر هذا المثلث يساوي: $3^2 + 4^2 = 9 + 16 = 25 = 5^2$. وبالتالي فإن الوتر يساوي، 5، وهو عدد صحيح

---

nais, *Les Grands courants de la pensée mathématique*, nouvelle ed. augmentée l'humanisme = scientifique de demain (Paris: A. Blanchard, 1962)

(٢) الأعداد الأولية هي الأعداد التي لا تقبل القسمة إلا على نفسها وعلى الواحد. مثل: ١، ٢، ٣، ٥، ٧. والأعداد غير الأولية هي التي تقبل القسمة أيضاً على اعداد أخرى مثل: ٤، ٦، ٨، ٩ و١٠.

«معقول»، أي يتصور بتمامه. أما إذا كان الضلعان المتجاوران يساويان على التوالي، 5، و7، فإن مربع الوتر يساوي $5^2 + 7^2$ أي $25 + 49$ أي 74. وإذا أردنا استخراج وتر هذا المثلث أي الجذر التربيعي للعدد 74 فإننا لن نحصل على عدد صحيح «معقول»، بل على عدد يقع ما بين 8 و9 باعتبار أن $8 \times 8 = 64$ و$9 \times 9 = 81$، وبالتالي فإن وتر هذا المثلث لا يقبل القياس بوحدات صحيحة لأنه يساوي 8 مع كسور لا نهاية لعدد أرقامها بعد الفاصلة. ولذلك لا يمكن «تعقله» بتمامه. وكذلك الشأن في المثلث الذي يساوي كل من ضلعيه المتجاورين العدد 1. فمربع وتره يساوي $1^2 + 1^2 = 1 + 1 = 2$. الوتر يساوي الجذر التربيعي للعدد 2 أي $\sqrt{2}$ وهو أيضاً لا يمكن التعبير عنه بوحدات صحيحة.

وهكذا فعندما أراد فيثاغورس التعبير عن الأطوال الهندسية بأعداد حسابية اصطدم بالأعداد الصماء التي لا تقبل القياس المضبوط، (يتعلق الأمر هنا بما سيعرف بمشكلة المتصل كما سنرى بعد)، فاعتبر ذلك فضيحة يجب اخفاؤها وأوصى تلاميذه بكتمان السر حتى لا تصيبهم مصيبة. ولعل هذا كان من العوامل التي جعلت الفيثاغوريين يجنحون إلى كتمان أمرهم، فلقد كانوا جمعية سرية كما هو معروف. ولربما كان ذلك أيضاً من جملة العوامل التي جعلت اليونان ينصرفون عن الحساب جملة ويقتصرون على الهندسة.

والحقيقة أن الأمر يتعلق هنا بتصور الاغريق للحوادث والظواهر، فالعالم عندهم لا يخلق الحادث وإنما يتأمله. والمعرفة عندهم رؤية عقلية مباشرة قوامها الحدس العقلي. ولذلك كان موضوعها المفضل هو الموضوعات الرياضية البسيطة. أما الموضوعات الأخرى المعقدة، فهي صعبة لأن عقولنا تعودت التفكير فيما هو بسيط فقط. أما الأمور المعقدة فهي تشوش الذهن، مثلها مثل الشمس التي تزعج الأبصار التي اعتادت الظلام (كهف أفلاطون). ولقد كان من نتائج تجنب الصعوبات التي من هذا القبيل والاقتصار فقط على الموضوعات البسيطة، ابتعاد الرياضيات الاغريقية ابتعاداً يكاد يكون تاماً عن التطبيقات والأهداف العملية. لقد رفضوا كل التقاء بين الرياضيات والواقع التجريبي، وأعرضوا عن المباحث المعقّدة التي تطرحها التجربة، فظلوا مسجونين في عالمهم الذهني متأملين الأفكار والمفاهيم البسيطة التي يدركها العقل بسهولة (الحدس).

نعم لقد انسلخت الرياضيات الاغريقية مع أرسطو وأوقليدس عن هذا الطابع الحدسي المفرط، لتكتسي طابعاً منطقياً، الشيء الذي خطا بها خطوات أخرى على صعيد التجريد والتعميم مما مكن اليونان من تشييد صروح رياضية نظرية معتمدين على التحليل والتركيب. فأرسوا البرهان الرياضي على قواعد منطقية صارمة: فما من قضية رياضية إلا ويبرهن عليها منطقياً، إما بالبرهان المباشر، وإما بالبرهان بالخلف. منطلقهم في ذلك عدد قليل من التعاريف توضع وضعاً، وجملة من المسلّمات تؤخذ كبديهيات عقلية لا تحتاج إلى برهان أو كمصادرات يتم التسليم بها بدون برهان لكونها تشكل أساساً للبرهان. وقد بلغت هذه الطريقة الرياضية، البرهانية تمتها عند أوقليدس في كتابه **الأصول** ***Les éléments*** (يسميه العرب أحياناً كتاب الأسطقسات، أي «العناصر»).

إن هذا الطابع المنطقي البرهاني الذي يغلب على هندسة أوقليدس قد حدا ببعض الباحثين (برانشفيك) إلى القول بوجود قطيعة بين العلم الفيثاغوري الأفلاطوني، والعلم الارسطي الأوقليدي. الأول قائم على الحدس، والثاني على المنطق والبرهان. ولكن باحثين آخرين يرون أن كتاب الأصول الذي ألفه أوقليدس لم يكن سوى مقدمة، أو إعادة صياغة لكتاب ألفه افلاطون، الهدف منه الوصول إلى رسم الأشكال الهندسية الأفلاطونية (المضلعات المنتظمة بكيفية خاصة). ومما يعزز به هذا الرأي كون بعض المؤرخين اليونانيين قد أشاروا إلى نزعة أوقليدس الأفلاطونية.

ومهما يكن، فإن القول بوجود مدرستين رياضيتين يونانيتين، مدرسة حدسية افلاطونية، ومدرسة برهانية أرسطية أوقليدية، لا يغيّر من جوهر التصور اليوناني للكائنات الرياضية، كما يقول بوترو. فالطريقة البرهانية في نظر أفلاطون ضرورية، فقط لأن عقولنا تعجز عن رؤية الحقائق دفعة واحدة. وإذا ما اكتسب المرء هذه القدرة وأصبحت لديه بمثابة حدس كلي، أصبحت تلك الطريقة غير ضرورية. وعليه فمن الخطأ، على هذا الاعتبار، القول بوجود قطيعة بين رياضيات فيثاغورس وأفلاطون من جهة، ورياضيات أرسطو وأوقليدس من جهة ثانية. بل كل ما في الأمر هو أن الطريقة البرهانية التي كانت وسيلة عند أفلاطون انقلبت إلى غاية في ذاتها لدى أرسطو وأوقليدس. وهكذا ينتهي بوترو إلى القول إن كتاب الأصول غاية من جهة، لأن المقصود منه عرض النظريات الهندسية الأساسية التي تتصف بأكبر قسط من الجمال، وهو وسيلة من جهة أخرى، لكونه يقدم أدوات تمكّن من البرهنة على نظريات جديدة. وهكذا وتجتمع الرغبة في جمال الموضوع مع الرغبة في جمال الوسيلة».

هذا ويمكن القول من جهة أخرى إن القطيعة بين الرياضيات النظرية اليونانية، والرياضيات التطبيقية المصرية البابلية لم تكن تامة ولا دائمة. فلقد كان اليونان يستعملون الجداول الحسابية التطبيقية، أي ما كان يسمّى عندهم بـ «اللوجستيك» Logistique (مثل جداول الضرب وجداول اللوغاريتم الحالية). وهي امتداد للحساب والهندسة المصريين البابليين، الشيء الذي مهّد لقيام تلك العلاقة الوطيدة بين الهندسة والسيناتيك (علم الحركة) ـ تحت ضغط الحاجات الاجتماعية والتقنية ـ وظهور المجال الميكانيكية إلى جانب المجال الهندسية. حدث هذا في مدرسة الاسكندرية خاصة، وهي المدرسة التي انتقلت إليها علوم اليونان ونبغ فيها أوقليدس وأرخيدس[٣]. إن اهتمام هذا الأخير بالميكانيكا جعله ينحرف قليلاً عن التقليد الاغريقي ويدرس المعطيات التجريبية دراسة رياضية.

على أن هذا كله لم يغيّر من جوهر الأمور كثيراً. فلقد بقي النموذج العلمي للرياضيات عند اليونان هو نفسه دائماً: الاهتمام بالبساطة والتناسق والجمال، والابتعاد عن الواقع

---

(٣) تنسب إلى أرخيدس كثير من الاكتشافات في الرياضيات والميكانيك. وقد عاش تحت حكم بطليموس الأول (القرن الثالث قبل الميلاد) ودرس هندسة أوقليدس الذي عاش في الفترة نفسها.

ومشاكله المعقدة. ولذلك بقيت رياضياتهم تعاني ضيق اطارهـا، فتقوقعت فيه وتوقفت عن النمو، ولم يكن في امكانها أن تكون على غير تلك الحال، «فالعلم الذي يتطور يخضع - كما يقول بول جرمان - لنفس قوانين الحياة. والحياة تسلك سبيل البحث والمحاولة والتقدم والتراجع، قبل أن تجد طريقها وتخطو خطوة جديدة إلى الأمام»(٤).

ثالثاً: الرياضيات عند العرب

عرف العرب رياضيات الاغريق وحساب الهنود، ولكن معرفتنا نحن بما عرفوه ما تزال ناقصة. ولذلك لن يكون في إمكاننا هنا تقديم صورة واضحة بقدر كاف عن المعرفة الرياضية، ونوعية التفكير الرياضي عند العرب، وكل ما نستطيع فعله في الوقت الراهن هو تسجيل المعطيات التالية:

١ - عرف العرب كتاب الأصول لأوقليدس، وغالباً ما يسمونه كتاب الاسطقسات، كما عرفوا فيثاغورس ورياضيات مدرسته، ونسبوا أوقليدس إلى هذه المدرسة بالذات، يقول الفارابي في كتابه إحصاء العلوم(٥): «والكتاب المنسوب إلى أوقليدس الفيثاغوري فيه أصول الهندسة والعدد، وهو المعروف بكتاب الاسطقسات. والنظر فيها بطريقتين: طريق التحليل وطريق التركيب. والأقدمون من أهل هذا العلم كانوا يجمعون في كتبهم بين الطريقين، إلا أوقليدس فإنه نظّم ما في كتابه عن طريق التركيب وحده». وواضح من هذه العبارة الأخيرة أن الفارابي كان يميّز بين ما أطلقنا عليه قبل اسم المدرسة الأفلاطونية الفيثاغورية الحدسية، والمدرسة الأرسطية الأوقليدية المنطقية. وإذا كان الفلاسفة عموماً (الكندي، الفارابي، ابن سينا) قد ساروا على التقليد الأرسطي الأوقليدي، فإن جماعة إخوان الصفا قد تبنّت الطريقة الفيثاغورية واهتموا بخواص الأعداد والأشكال، مضفين عليها صبغة سحرية، متأثرين في ذلك بالفيثاغورية المتأخرة خاصة.

ومهما يكن من أمر، فالظاهر أن العرب لم يتبنّوا التصور اليوناني للكائنات الرياضية، فلم يجعلوا منها ماهيات ذهنية مستقلة وكاملة على غرار المثل الأفلاطونية، بل لقد اعتبروا الموضوعات الرياضية تجريدات عقلية أي موضوعات ذهنية تستخلص بالتجريد والتعميم. وليس هناك ما يدل على أنهم نسبوا إليها وجوداً موضوعياً، كما فعل اليونان، أو أنهم كانوا يعتقدون في هذا «الوجود الموضوعي» للأعداد والأشكال. يقول الفارابي عن علم العدد إنه علمان: «أحدهما علم العدد العملي، والآخر علم العدد النظري. فالعملي يفحص عن الأعداد من حيث هي أعداد معدودات تحتاج إلى أن يضبط عددها من الأجسام وغيرها مثل رجال وأفراس... وهي التي يتعاطاها الجمهور في المعاملات السوقية والمعاملات المدنية.

---

(٤) Paul German, «Les Grandes lignes de l'évolution des mathématiques,» dans: Le Lionnais, Ibid.

(٥) أبو نصر محمد بن محمد الفارابي، إحصاء العلوم والتعريف بأغراضها، تحقيق عثمان محمد أمين، ط ٣ (القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٦٨)، ص ٩٧.

وأما النظري فإنه إنما يفحص عن الأعداد بإطلاق، على أنها مجردة في الذهن عن الأجسام وعن كل معدود منها. وإنما ينظر فيها مخلصة عن كل ما يمكن أن يعد بها من المحسوسات ومن جهة ما يعم جميع الأعداد التي هي أعداد المحسوسات وغير المحسوسات. . . فعلم العدد النظري يفحص عن الأعداد على الاطلاق وعن كل ما يلحقها في ذواتها مفردة من غير أن يضاف بعضها إلى بعض وهي الزوج والفرد، وعن كل ما يلحقها عندما يضاف بعضها إلى بعض وهو التساوي والتفاضل» والزيادة والنقصان والقسمة والضرب والتشابه والتناسب و«يعرف كيف الوجه في استخراج أعداد من أعداد معلومة. وبالجملة في استخراج كل ما سبيله أن يستخرج من الأعداد». ويقول عن الهندسة بعد تصنيفها إلى عملية ونظرية: «والنظرية إنما تنظر في خطوط وسطوح أجسام على الاطلاق والعموم وعلى وجه يعمّ سطوح سائر الأجسام. ويصور في نفسه الخطوط بالوجه العام الذي لا يبالي في أي جسم كان، ويتصور في نفسه السطوح والتربيع والتدوير والتثليث بالوجه الأعم الذي لا يبالي في أي جسم كان. . . بل على الإطلاق من غير أن يقيم في نفسه مجسماً هو خشب أو مجسماً هو حائط أو مجسماً هو حديد، ولكن المجسم العام لهذه». وهذا العلم «يفحص في الخطوط والسطوح وفي المجسمات على الاطلاق، عن أشكالها ومقاديرها وتساويها وتفاضلها، عن أصناف أوضاعها وترتيبها». وتناسبها وتباينها وتشاركها. . . الخ «ويعرف الوجه في صنعة كل ما سبيله منها أن يعمل، وكيف الوجه في استخراج كل ما كان سبيله منها أن يستخرج، ويعرف أسباب هذه كلها، ولم هي كذلك، ببراهين تعطينا العلم اليقين الذي لا يمكن أن يقع فيه الشك. . .»(٦).

واضح من هذه الفقرات أن الفلاسفة العرب قد اعتبروا الموضوعات الرياضية تجريدات ذهنية لا «كائنات كاملة ثابتة مستقلة» كما كان يتصور اليونانيون. ولذلك كان الذي أعجب به العرب، ليس تأمل هذه «الكائنات» وخواصها، بل ما تمتاز به الرياضيات من معقولية ويقين. لقد اهتموا وأعجبوا بالجانب المنطقي في الرياضيات اليونانية وأهملوا جانبها الميتافيزيقي. ولذلك نجد مفكراً أشعرياً كالغزالي يشيد بما تمتاز به الرياضيات من يقين لا يرقى إليه الشك، يقين هيهات أن تتصف به الآراء والأقاويل الفلسفية.

طبعاً، يجب أن نستثني جماعة إخوان الصفا الذين تبنّوا، في هذا المجال، جملة الآراء الفيثاغورية ـ الأفلاطونية، والذين استهوتهم خواص الموضوعات الرياضية من أعداد وأشكال فنسبوا إليها وجوداً مستقلاً، وأقحموها في عملية الخلق الإلهي كما فعل أفلاطون، وأقاموا بينها وبين الموجودات الطبيعية نوعاً من التوازي والتناظر. جاء في رسالتهم الأولى الخاصة بالرياضيات قولهم: «. . . وذلك أن الأمور الطبيعية أكثرها جعلها الباري، جل ثناؤه، مربعات مثل الطبائع الأربع التي هي الحرارة والبرودة والرطوبة واليبوسة، ومثل الأركان الأربعة التي هي النار والهواء والماء والأرض، ومثل الأخلاط الأربعة التي هي الدم والبلغم والمرّتان: المرّة الصفراء والمرّة السوداء، ومثل الأزمان الاربعة التي هي الربيع والصيف

---

(٦) نفس المرجع، ص ٩٤ ـ ٩٦.

والخريف والشتاء ومثل. . . ومثل. . . واعلم يا أخي. . . بأن نسبة الباري جل ثناؤه، من الموجودات، كنسبة الواحد من العدد، ونسبة العقل منها كنسبة الاثنين من العدد. . . كما أنشأ ـ الله ـ الاثنين من الواحد بالتكرار. . . كما أنشأ الثلاثة بزيادة الواحد على الاثنين. . .». وقد أطنب اخوان الصفا في ذكر خواص الأعداد والأشكال على الطريقة الفيثاغورية، مشيرين في مقدمة رسالتهم الأولى في الرياضيات إلى أنهم يفعلون «مثل ما كان يفعله الحكماء الفيثاغوريون»[٧]. وبالفعل لقد كان إخوان الصفا فيثاغوريين في فلسفتهم التي مزجوها بعناصر أخرى مقتبسة من الأفلاطونية الحديثة والتعاليم الاسلامية، فجاءت رسائلهم خليطاً لا يتبين فيها الباحث أية أصالة أو إبداع.

٢ ـ إن البحث عن الأصالة والإبداع في الميدان الرياضي، يتطلب منا الاتجاه لا إلى إخوان الصفا، ولا حتى إلى الفلاسفة المشهورين (من الكندي إلى ابن رشد) بل إنما نجد الأصالة والإبداع في هذا المجال، لدى أولئك الذين نفتقد كثيراً من آثارهم ومؤلفاتهم، والذين لم تصلنا منهم إلاّ أخبار مشوقة وشذرات قليلة متفرقة. نقصد بذلك أمثال الخوارزمي والتباني والبوزجاني وثابت بن قرة ومحمد الخازن وابن الهيثم وعمر الخيام وابن البناء وغيرهم من الرياضيين والفلكيين والفيزيائيين العرب الذين أغنوا الرياضيات بمبتكرات واكتشافات يدين لها عصر النهضة في أوروبا. لقد تعرّف هؤلاء على حساب الهنود ورياضيات اليونان معاً، فلم يسجنوا أنفسهم في هذا ولا في ذاك، وإنما استندوا عليهما معاً في دفع العلم الرياضي خطوات إلى الأمام. ويكفي هذا أن نشير إلى أن كلمة «لوغاريتم» مشتقة من اسم الرياضي الكبير «الخوارزمي»، الذي اخترع الجبر وهو نفس الاسم الذي أطلقه على هذا الفرع الهام من الرياضيات. لقد استعمل الخوارزمي طريقة سمّاها «الجبر والمقابلة»، واللفظ الأول وحده هو الذي كتب له الخلود. والجبر والمقابلة طريقتان متكاملتان خاصتان باستخلاص المجهول من المعلوم. وذلك بأن يجبر أو يكمل كل طرف من طرفي المعادلة بنقل المقادير السالبة من طرف إلى آخر بالزيادة فلا تبقى في الطرفين غير المقادير الموجبة. وأما المقابلة فهي طريقة أخرى تقوم على حذف المقادير المتماثلة أي «المتقابلة» في طرفي المعادلة. يقول الخوارزمي صاحب **مفاتيح العلوم**[٨]، وهو كاتب أديب غير الخوارزمي الرياضي المشهور يقول: «الجبر والمقابلة صناعة من صناعات الحساب وتدبير حسن لاستخراج المسائل العويصة في الوصايا والمواريث والمعاملات والمطارحات، وسميت بهذا الاسم لما يقع فيها من جبر النقصانات والاستثناءات، ومن المقابلة بالتشبيهات والقائها، مثال ذلك أن يقع في المسألة مال إلاّ ثلاثة أجذاره يعدل جذراً، فجبره أن تقول مال يعدل أربعة أجذار، وذلك ستة عشر لأنك تممت المال وزدت عليه ما كان مستثنى منه فصار مالاً تاماً، ثم احتجت أن تزيد مثل ذلك المستثنى على معادله

---

(٧) إخوان الصفاء، **رسائل إخوان الصفاء**، ٤ ج (بيروت: دار صادر؛ دار بيروت، ١٩١٧)، مج ١، القسم الرياضي.

(٨) أبو عبد الله محمد بن أحمد الخوارزمي، **مفاتيح العلوم**، عني بتصحيحه ونشره إدارة الطباعة المنيرية (القاهرة: مطبعة الشرق، ١٣٤٢هـ)، ص ١١٦.

فصار المعادل أربعة أجذار. وأما مثال المقابلة فمثل أن يقع في المسألة مال وجذران تعدل خمسة أجذار فتلقي الجذرين الذين مع المال وتلقي مثل ذلك من معادل فيحصل مال يعدل ثلاثة أجذار، وذلك تسعة»[9].

ومن مبتكرات الرياضيين العرب استعمالهم الأرقام العربية وهي المستعملة الآن دولياً، واكتشاف الصفر، أو على الأقل إدخاله في سلسلة الأرقام، مما سهّل كثيراً العمليات الحسابية، هذا بالإضافة إلى حل كثير من المعادلات والعبارات الجبرية. (توصل ثابت بن قرة إلى حساب الدالة $\sqrt{س}$ واشتغل الخركي والبيروني بحل معادلات من الدرجة الثالثة، وتمكّن البيروني من حل المعضلات المتعلقة بالسرعة والتسارع، وتوصل عمر الخيّام إلى جمع القوى من الدرجة الرابعة[10]، إلى غير ذلك من المكتشفات التي ما زالت في حاجة إلى بحث ودراسة.

ومن العرب انتقل الجبر إلى أوروبا وكان ذلك في القرن الثالث عشر على يد ليونار فيبوناكشي **Leonard Fibonacci** الايطالي. ولكن الجبر لم يصبح علماً حقيقياً قائماً على استعمال الرموز إلّا في القرن السادس عشر على يد كل من فييت وديكارت، كما سنرى في الفقرة التالية. وهكذا، فإذا كان اليونان قد حققوا للرياضيات الدرجة الأولى من التجريد، وكان ديكارت هو الذي دشّن في العصر الحديث الدرجة الثانية على سلّم التجريد، في مجال الرياضيات، فلقد كانت هناك بين العهد اليوناني والعهد الديكارتي مرحلة وسطى استطاع العرب خلالها أن يركبوا معارف علماء الاغريق ومعارف حسوبي الهند، ويكتشفوا كثيراً من أساليب البحث الرياضي وعلى رأسها الجبر الذي ظل يحمل الاسم العربي علامة على أصله وموطن نشأته.

رابعاً: الرياضيات في العصر الحديث (حتى القرن التاسع عشر)

إن ريح النهضة التي هبّت على أوروبا من العالم الاسلامي مشرقه ومغربه، خلال القرنين الثاني عشر والثالث عشر، لم تعط ثمارها إلّا ابتداء من القرن السادس عشر الذي شهد قيام الفيزياء والميكانيك على يد جاليلو والجبر على يد فييت وديكارت. أما في الفترة الواقعة ما بين القرنين الثالث عشر والسادس عشر فلقد بقي العالم الأوروبي يحاول هضم وتمثّل الرياضيات اليونانية والعربية.

---

(٩) «المال» في اصطلاحهم هو مربع العدد. فالعدد ٢٥ مال للجذر ٥. وعلى هذا يمكن أن نكتب المثال الاول كما يلي: $س^2 - ٣ س = س$ (مال إلّا ثلاثة أجذاره يعدل (يساوي) جذراً). أي $س^2 = ٤ س$ وبالتالي: س = ٤ والمال يساوي ١٦. وأما المثال الثاني فصورته الجبرية كما يلي: $س^2 + ٢ س = ٥ س$. نحذف من طرفي المعادلة ٢ س فنصير هكذا $س^2 = ٣ س$، إذن س = ٣، والمال ٩.

(١٠) *Dictionnaire du savoir moderne: Les Mathématiques* (Histoire).

نعم لقد أسس الخوارزمي علم الجبر. ولكنه لم يمارسه بواسطة الرموز بل بواسطة الكلام، والمثال الذي نقلناه عن الخوارزمي الكاتب مثال على ذلك. لقد كان العرب «يتكلمون» الجبر، ولذلك صعب عليهم تطويره وتنميته، وعندما انتقل إلى أوروبا ظل المطلعون على العلم العربي يمارسونه بنفس الشكل مما عاق نموه السريع. وكان لا بد من انتظار فرانسوا فييت F. Viète (١٥٤٠ ـ ١٦٠٣) الذي اهتدى إلى استعمال الحروف الهجائية كرموز للكميات الحسابية، فاستغنى بذلك ليس فقط عن الكلام العادي، بل أيضاً عن الأعداد الحسابية، وأدخل بعض العلامات كرموز للعمليات التي تجري على تلك الحروف، وبذلك ارتفع بالرياضيات درجة أخرى من التجريد ففتح آفاق التطور والنمو واسعة رحبة، أمام هذا العلم العربي.

ومع ذلك، لم تكن سوى الخطوة الأولى التي لم يستطع بعدها فييت مواصلة الطريق والتغلب على الصعاب التي اعترضته، خصوصاً تلك التي ترجع إلى «اقتران العمليات الجبرية في ذهنه بالأشكال الهندسية»، وذلك ظاهرة كانت سائدة من قبل عند اليونان والعرب. يقول برنغهايم Pringsheim أحد مؤرخي الرياضيات في القرن العشرين: «إن فييت هو الذي علمنا كيف نحسب بالحروف الدالة على الأبعاد دون أن نخرج عن حدود النظر في الحروف نفسها، وذلك باستعمال رمز خاص يسمح بأن نطبق العمليات الرياضية على الحروف كما لو كانت الحروف ممثلة لأعداد معينة. . . ولكن فييت وقف مع ذلك في منتصف الطريق عند خطوته الأولى، وذلك لأنه لم يعرف كيف التخلص على نحو كاف من التفسير الهندسي للعبارات الجبرية، ذلك التفسير الذي كان مألوفاً عند القدماء. فهو عندما جعل حرف (أ) مثلاً في مقابل خط مستقيم بدا له أن يجعل (أ. أ) مثلاً مقابل المربع، و(أ. أ. أ) في مقابل المكعب. . . وهذه المقابلات منعته من أن يعطي للعلم الذي بعثه وجدده كل ما هو جدير به من صفة العموم والتجريد»[11].

واضح، إذن، أن العقبة التي كانت تعترض الجبر كعلم تجريدي محض، هو ارتباطه بالأشكال الهندسية وحدسها، فكان لا بد من تخليصه منها بعد أن خلصه فييت من الكلام العادي وما يقوم مقامه من أعداد حسابية. ذلك ما قام به ديكارت بعد حوالى نصف قرن، وكانت خطوته الأولى والمهمة هي اكتشافه لطريقة تمكن من التعبير عن الأشكال الهندسية بحروف جبرية، أي دمج الهندسة في الجبر. نقصد بذلك الهندسة التحليلية، التي اكتشفها ديكارت والتي أسست «التحليل» L'Analyse أهم فروع الجبر الحديث. ويعطينا ديكارت نفسه فكرة واضحة عن هندسته التحليلية هذه، فيقول: «كل مسائل الهندسة يمكن أن يعبّر عنها على نحو يكفي معه أن نعرف عدداً معيناً من الخطوط المستقيمة لكي نحصل على التركيب المطلوب الحصول عليه. وكما أن الحساب يرد إلى أربع أو خمس عمليات فكذلك الهندسة ترد بالمثل إلى العمليات نفسها، نجريها على خطوط مستقيمة ينظر إليها كأعداد وحسب. وعلى هذا فإذا كان أ، وب، يمثلان خطين مستقيمين، فإن أ + ب، أو أ × ب، لا

---

(١١) ذكره ثابت الفندي في كتابه: فلسفة الرياضة (بيروت: دار النهضة العربية، ١٩٦٩)، ص ٨٦.

يمثلان مستطيلاً أو مربعاً، وإنما خطاً مستقيماً نسبته إلى «أ» كنسبة «ب» إلى الوحدة (وحدة القياس). وكذلك العوامل والجذور والأسس، فإنها تمثل جميعاً خطوطاً مستقيمة. وبالجملة، نتائج العمليات هي دائماً مستقيمات»[12].

لقد استبعد ديكارت جميع الأشكال الهندسية بإرجاعها كلها بواسطة «التحليل» إلى خط مستقيم يحدد شكله وأبعاده بواسطة احداثيات (الاحداثيات الديكارتية)، كما هو معروف في مباحث الدوال، وهي نفس المباحث التي تشكل ما يطلق عليه اسم «التحليل». وهكذا أوضح ديكارت كيف يمكن، بواسطة العمليات الجبرية، حل مشاكل متعلقة بالمقادير والأشكال الهندسية، بطريقة يقينية منتظمة، لما يمتاز به الجبر من سرعة ويقين ووضوح: أما السرعة فلأنه يستخدم رموزاً عامة وعمليات يمكن تطبيقها على جميع الحالات التي تتفق معها، في حين أن الحساب يطبّق على كل مسألة عمليات خاصة. وأما يقين الجبر فراجع إلى أنه ـ أي الجبر ـ مبني على قواعد صورية منتظمة تطبق بشكل آلي ـ وبوضوح تام ـ على الرموز بقطع النظر عن القيم التي يمكن أن تعطى لها. وبذلك يتأتى لنا إنشاء عوالم وأشكال هندسية يعجز تصورنا الحدسي عن تشييدها أو تمثلها، الشيء الذي يمكننا من التعامل مع كائنات رياضية جديدة قد لا يكون لها مقابل في الواقع الحسي[13].

لقد قطع ديكارت مع التصور اليوناني للرياضيات وفتح أمام هذا العلم اليقيني آفاق واسعة رحبة: لم يستطع اليونان الاهتداء إلى الجبر لأنهم كانوا مسجونين في الطريقة الحدسية، حدس الأعداد والأشكال، أي حدس الكائنات الرياضية التي كانوا يعتبرونها خالدة كاملة، كما أشرنا إلى ذلك قبل. لم يكن في إمكانهم ذلك، لأن الجبر عندما يستعيض عن الأشياء والأشكال بالرموز يتعامل معها وكأنها غير معروفة أو أنها مجهولة فعلاً. وهذا ما لا يسمح به التصور اليوناني الذي كان يعتبر الكائنات الرياضية كاملة «معروفة» يكفي تذكرها فقط. وهكذا فبدلاً من أن تظل الرياضيات ـ كما كان الشأن عند اليونان ـ عبارة عن تأمل موضوعات ذهنية مثالية، أصبحت بفضل العرب، وعند ديكارت خاصة عبارة عن بناء ذهني يشيده العقل بواسطة قواعد معينة.

كان ديكارت إذن ـ كما يقول بوترو ـ أول من ضرب الرياضيات اليونانية في الصميم، فأقام تصوراً جديداً للعلم الرياضي هو التصور التركيبي Synthétique. ذلك لأن الجبر بالنسبة إليه هو أساساً منهج للتركيب، أي منهج للربط بين عناصر بسيطة للحصول على مركبات تتعقد بنيتها شيئاً فشيئاً. إنه منهج يعلمنا كيف نفكر تفكيراً عقلياً منطقياً في الكميات المجردة اللامحدودة، الشيء الذي يجعل الرياضيات تصبح ميكانيكية سهلة لا تتطلب مجهوداً عقلياً كبيراً. ولذلك جعل ديكارت من الجبر منهجاً لـ «العلم الكلي» فطبّقه على الهندسة، ثم طبّق الجبر والهندسة معاً على الميكانيكا، فجاء تفسيره للعالم تفسيراً هندسياً ميكانيكياً. إن

---

(١٢) نفس المرجع، ص ٨٧.

(١٣) Boutroux, *L'Idéal scientifique des mathématiciens dans l'antiquité et les temps modernes.*

إشادة ديكارت بالجبر وإعجابه به جعله ينظر إليه لا كطريقة وحسب، بل وكغاية في ذاته. ذلك لأن المهم بالنسبة إلى العالم الرياضي ليس تطبيق ما يبتدعه من انشاءات، بل المهم هو هذه الانشاءات نفسها وطريقة انشائها. وهكذا أصبحت الرياضيات انشائية Constructives بعد أن كانت تأملية.

لقد انفتحت، مع ديكارت، آفاق واسعة أمام الرياضيات التي أصبح الجبر عمودها الفقري، فراحت تحلّق في عالم التجريد وتشيد صروحاً ذهنية تزداد بعداً عن الواقع الحسي. ولكن التخلص من الحس لا يتم دفعة واحدة ولا على شكل قطيعة نهائية. لقد حوّل ديكارت الهندسة إلى جبر فصار في الإمكان دراسة الأشكال الهندسية بواسطة الدوال وحدها. غير أن الدوال لا بد فيها من ذلك المستقيم الذي استبقاه ديكارت ليرد إليه جميع الأشكال الهندسية.

وهنا مع المستقيم الديكارتي ومع «التحليل» ستظهر مشكلة قديمة ظلت تنتظر الحل منذ العهد الاغريقي. إنها نفس المشكلة التي أثارها زينون الايلي، وهي نفسها التي اعترضت فيثاغورس ومن بعده ارخميدس وآخرين نقصد بذلك مشكلة اللانهاية أو مشكلة المتصل.

لقد ظهرت هذه المشكلة، كما هو معروف، مع زينون الأيلي تلميذ بارمنيدس ـ الذي أراد أن يرد على خصوم أستاذه القائلين بالتغير بدل الثبات ـ وذلك بإقامة البرهان على استحالة الحركة. تقول إحدى حجج زينون: إن المتحرك من نقطة أ ـ مثلاً ـ إلى نقطة ب لا بد له أن يقطع نصف المسافة أولاً، ثم نصف هذا النصف ثانياً، ثم نصف ما تبقى ثالثاً، وهكذا إلى ما لا نهاية له. والنتيجة هي أن هذا المتحرك لن يصل قط إلى مبتغاه! وهكذا فإذا أردنا أن نقطع مسافة متر واحد ـ مثلاً ـ فإننا سنكون ـ حسب نظرية زينون ـ أمام السلسلة التالية التي لا نهاية لها.

$$1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} \ldots \text{الخ}$$

$$1 = \left(\frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^3 \ldots$$

وتلك في الحقيقة هي نفس المشكلة التي صادفها فيثاغورس عندما كان يبحث في وتر المثلثات القائمة الزاوية. لقد ذعر فيثاغورس ـ كما أشرنا إلى ذلك قبل ـ من كون بعض الأعداد لا تصلح لقياس أضلاع المثلث لأنها لا تقف عند وحدة قياسية معينة، بل تسير في التجزئة إلى ما لا نهاية له (الأعداد الصماء). وظهرت المشكلة أيضاً مع أرخميدس وغيره ممن انشغلوا بقياس محيط الدائرة ومساحتها. وكانت الطريقة التي سلكوها هي رسم مضلعات منتظمة مماسة للدائرة من الداخل وأخرى مماسة لها من الخارج، وبتكثير هذه المضلعات ـ أي بتصغير أضلاعها ـ إلى أقصى حد ممكن تقترب أضلاعها من الانطباق على محيط الدائرة، ولكنها لن تنطبق عليه أبداً، وبالتالي فإن مجموع قيم هذه الأضلاع لا تعطينا محيط الدائرة إلاّ

بشكـل تقريبي، (ومن هنـا النسـبة التقـريبية. بي π = 3,1415) أن العـدد الـذي يمثّـل محيط الدائرة يقع بين العدد الذي يمثّل مجموع قيم المضلعات التي تمس الدائرة من الداخل ومجموع قيم المضلعـات المماسـة لها من الخـارج. وكان العـرب قد طـرحوا مشـاكل مماثلة فقـد بحث ثابت بن قرة في دالة س، وحاول البيروني معالجة مشكلة التسـارع. وتلك كلهـا أوجه المشكلة الشائكة: مشكلة المتصل[١٤].

كـانت محاولات القـدمـاء، هـذه محـدودة وجـزئيـة، فبقيت المشكلة معلّقـة إلى القـرن السـادس عشر حينما طـرحها علماء آخـرون، وعلى رأسـهم كبلر وكفـاليري Cavalerie. لقـد تمكّن هـذا الأخير من طـرح المشكلة طرحـاً جديـداً عام ١٦٣٥ عـرضـه في كتـابه هندسـة اللامنقسمات، حيث اعتبر السطوح أو المسـتويات عبـارة عن مجموعـة لانهائية من السـطوح، وانكب على دراسة مشكلة الاتصال الهندسي من هذه الزاوية. وقامت محـاولات أخرى مماثلة كتلك التي قام بها فيرما Fermat وروبيرفال Roberval وغيرهما. ولكنها محاولات لم تكن تخرج كلها عن نطاق الهندسة القديمة، وربيبتها الهندسية التحليلية.

وظهرت المشكلة في ميدان آخر، وعلى يد عالمين كبيرين همـا نيوتن وليبنـز، هو ميـدان حسـاب السـلاسـل Calcul des séries لقـد اسـتطاع ليبنـز Leibniz (١٦٤٦ ـ ١٧١٦) أن ينشيء، على ضوء المحاولات السابقة ما يعرف اليوم بحسـاب اللانهايـات الصغرى Infinité-simal Calcul أي حسـاب التفاضـل وحساب التكـامل مجتمعين[١٥]. وتوصـل نيوتن Newton (١٦٤٢ ـ ١٧٢٧) من جهته إلى اكتشاف مماثل عندما كان منهمكاً في صياغة قانون الجـاذبية. والحق أن التطبيقات في ميدان الميكانيـك هي التي عجّلت بتقدم الجبر والتحليل في القـرن الثامن عشر، للبحث عن مسار جسم متحـرك يقسم هذا المسـار إلى مجموعـات من المحطات الثابتة تفصلها مسـافات هي من الصغر بقدر ما يمكن، بل مسـافـات لا حدّ لصغـرها، بحيث تصبح أصغر من كـل كمية معطاة من قبل. وباستعمال حسـاب اللانهايـات الصغرى تمكن العلماء من التغلب عـلى المشكلات التي تثيرها مسـائل الحـركة في علم الـديناميـك. هكـذا تفرّعت أنواع الدوال وأصبح بالإمكان دراسة جميع الظواهر المتغيرة المتطورة بواسطة المعادلات التفاضلية: والحصول على معادلة تفاضلية لظاهرة ما، معناه فهم ديناميتها والتحكم فيها.

---

(١٤) انظر في قسم النصوص نصاً حول هذه المشكلة.

(١٥) حساب اللانهايات الصغرى يتناول الكميات اللانهائية الصغر أي التي تتناقص باستمرار ودون توقف إلى ما حد له. والوحدة المقسومة على كمية لانهائية الصغر تعطينا كمية لانهائية الكبر. وحساب اللانهايات الصغرى هو فن استعمال الكميات اللانهائية الصغر كمساعد للكشف عن العلاقات القائمة بين كميات مقترحة.

ويعنى حساب التفاضل Calcul différentiel بالزيادات اللانهائية الصغر التي يمر بها متغير خلال القيم المتتابعة التي تعطى له. أما حساب التكامل Calcul intégral فيبحث في الارتباط الذي يقوم بين متغيرين إذا علم معدل التغير بينهما. فموضـوعه دراسة نهاية مجموعة من الكميات اللانهائية الصغر (إيجاد المساحة التي يحددها المتحرك على الرسم البياني).

لقد فتح التحليل آفاق جديدة خصبة أمام الرياضيات النظرية، وتمكّن الرياضيون بفضله من التغلّب على مشكلة اللانهايات الصغرى والاستغناء عن الحدس الهندسي حتى في ذلك المجال الضيق الذي استبقاه ديكارت. لقد تحوّلت الرياضيات كلها إلى عمليات جبرية لا تخضع إلاّ لقواعد المنطق فاقتربت من هذا الأخير حتى كادت تمتزج به. وكان من نتائج انتشار الطريقة الجبرية (استعمال الرموز بدل الأعداد وغضّ النظر نهائياً عن محتوى هذه الرموز) أن صيغت عبارات رياضية ليس لها ما يقابلها في الواقع، وظهرت «كائنات» رياضية غريبة أثارت دهشة الجميع. فعلاوة على الأعداد الصماء المعروفة منذ فيثاغورس ظهرت أنواع أخرى من الأعداد كـ الأعداد التخيلية والأعداد المركبة[16]. وقد تبيّن أن جميع المعادلات تقبل الحل بالأعداد المركبة. فالرموز الجبرية: أ. ب. ج. س. ص. تمثل كلها، بدون استثناء، أعداداً مركّبة من صيغة (أ. ب. خ) (راجع الهامش أدناه). هكذا تحوّلت جميع العبارات الجبرية إلى عبارات مشروعة منطقياً ـ باستعمال الأعداد المركبة ـ وأصبح في الإمكان القيام بتأليفات جبرية تخيلية بغض النظر فيها عن الأشياء الحقيقية ـ أو المتصورة ـ التي تمثّلها هذه العبارات، وبالتالي لم يبق هناك أي مفهوم سحري غامض، بل كل ما هناك هو خاصية عامة للأعداد المركبة ناجمة عن التركيب الصوري للعمليات الجبرية.

انساق الرياضيون ـ طوال القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر ـ مع هذه التأليفات الجبرية، الصورية المنطقية وأخذوا يسبحون في عالمها الرحب ويخطون خطوات جريئة في مختلف فروع التحليل. ولكنهم سرعان ما أحسّوا أنهم يسبحون في الفراغ. فلقد ظهر واضحاً أن النموذج الرياضي الذي يتمسكون به ينحل في الأخير إلى تأليفات جبرية صورية منطقية تتم حسب قواعد معينة وتؤدي إلى تشييد صروح لا صلة لها بالواقع. لقد شعروا وكأنهم يمارسون هواية أشبه بهواية لعبة الشطرنج. فما الفائدة من هذه الانشاءات الجبرية الصورية المجردة؟ لقد حوّلت الجبر وبالتالي الرياضيات كلها إلى علم غير منتج، بعد أن كانت خصبة معطاء!

ومن هنا ارتأى كثير منهم أن العمليات المنطقية وحدها لا تكفي بل لا بد من شيء آخر، غير القواعد المنطقية، يرجع للرياضيات خصوبتها. وعندما تقع أزمة في هيكل البناء

---

(١٦) الأعداد التخيلية N. Imaginaires هي أعداد غير حقيقية، وإنما يتم تخيلها فقط، مثل $\sqrt{-1}$، إذ ليس هناك أي عدد إذا ضرب في نفسه كان الناتج - ١ لأن حاصل الضرب يكون دائماً موجباً. ولذلك فلا معنى لجذر عدد سالب. ولكن هناك معادلات تقتضي هذه الأعداد التخيلية مثل س^2 + ١ = ٠ التي تحل هكذا: س^2 = -١ إذن: س = $\sqrt{-1}$.

والأعداد المركبة N. Complexes هي أعداد تشتمل على عددين حقيقيين وعدد تخيلي هو في الغالب $\sqrt{-1}$. ويرمز للعدد التخيلي بحرف i (أول حرف من اسمه اللاتيني) ويمكن أن نرمز إليه بالعربية بالحرف خ (من الخيال). وإذن فالأعداد المركبة هي كل عدد صيغته أ ـ ب خ حيث تدل «أ» و«ب» على عددين حقيقيين، و«خ» على عدد تخيلي. هذا وواضح أن الأعداد الحقيقية هي الأعداد المعروفة، الجذرية منها والصماء.

يلتفت الناس عادة إلى الأسس التي شيّد عليها هذا البناء. وفعلاً فقد اتجهت أنظار الرياضيين، نتيجة لما ذكر، إلى الأسس أو المبادىء الأولية يفحصونها ويبحثون في الاعتبارات التي يقوم عليها اختيارها، وفي مسألة الصدق فيها... فكان من نتيجة ذلك ظهور الأكسيوماتيك Axiomatique وقيام هندسات لاأوقليدية. كما سنرى في الفصل التالي.

الفصل الثاني

الهندسات اللاأوقليدية والمنهاج الاكسيومي

ظلّت الرياضيات، منذ أن قامت كعلم نظري على يد اليونان إلى القرن التاسع عشر، تعتبر النموذج الأعلى للمعقولية. فالمعرفة الرياضية عند أفلاطون، وهي القائمة على الحدس، أي تلك الرؤية العقلية المباشرة، معرفة يقينية لا يرقى إليها الشك، والبرهان الرياضي المنطقي، عند أرسطو وأوقليدس، أكثر أنواع البرهان قوة وتماسكاً. ومع انتشار الجبر في العصر الحديث أصبحت الرياضيات انشائية تماماً، فقطعت الصلة بذلك مع الطابع التأملي الذي سيطر فيها في العهد اليوناني، وخاصة في المرحلة الفيثاغورية الأفلاطونية. وكما أشرنا إلى ذلك من قبل، فلقد كان من نتائج انتشار الجبر والتحليل أن أصبحت الرياضيات منهجاً تركيباً، قوامه الانطلاق من عناصر بسيطة - مقدمات - والصعود تدريجياً نحو الصروح المعقدة بطريقة برهانية متماسكة.

غير أن هذه «العناصر البسيطة» أو «المبادىء» التي كان يقوم عليها البرهان الرياضي، وتُشاد على أسسها الصروح الرياضية الشامخة، لم تكن واضحة تمام الوضوح في أذهان الرياضيين. لقد اعتبروها بمثابة صور فكرية لوقائع تجريبية فبقيت - نظراً لذلك - ذات صلة بالحوادث التجريبية. والحق أنه لم يكن أحد يشك في صلة الرياضيات بالتجربة، على الرغم من غموض هذه الصلة وصعوبة الكشف عن حدودها وحقيقتها. الشيء المؤكد، وهذا ما أكدته التجربة دوماً، هو انطباق الرياضيات على الحوادث التجريبية انطباقاً ساعد كثيراً على تقدم العلوم الطبيعية من فيزياء وميكانيك وكيمياء وفلك... الخ. كان هذا هو الشيء الوحيد الواضح في أذهان الرياضيين، وكان ذلك مشجعاً لهم على المضي في أبحاثهم وعدم الالتفات، أو على الأقل عدم الانشغال التام، بالأسس التي ينطلقون منها في استدلالاتهم. وكما يقول أحد الرياضيين: كانت الغاية تبرر الوسيلة: العلوم تتقدم بفضل الرياضيات، والرياضيون أنفسهم يخطون خطوات واسعة إلى الأمام بعلمهم البرهاني العتيد، ولكن دون أن يلتفتوا إلى المبادىء التي يرتكزون عليها ليحث صدقها ونوعية هذا الصدق.

لقد تغيّر الموقف تماماً ابتداء من النصف الثاني من القرن التاسع عشر، وخاصة عندما أخذت تظهر في عالم الرياضيات مفاهيم وكائنات لا تتفق مع الواقع التجريبي، ولا يستسيغها حدسنا الحسّي، كالأعداد التخيلية والأعداد المركّبة والدوال المنفصلة، والمنحنيات التي لا مماسّ لها، والمنحنيات التي تملأ مربعاً. أضف إلى ذلك مسلمة التوازي في هندسة أوقليدس، تلك المسلمة التي كانت مبعثاً للقلق والشك منذ قرون طويلة... كل ذلك حمل الرياضيين على الالتفات بجد إلى المبادىء والأسس التي يبنون عليها استدلالاتهم وانشاءاتهم الكثيرة المتنوعة. ومن هنا قامت في أوساط الرياضيين حركة واسعة تركّزت حول مراجعة مبادىء البرهان الرياضي ونقدها، وفحص مدى صدقها ونوعية هذا الصدق. إنها حركةُ نقد داخلي أدّت إلى إعادة صياغة المنهاج الرياضي صياغة منطقية واعية (= الاكسيوماتيك، أو المنهاج الأكسيومي) من جهة، وإلى طرح مشكلة الأسس، بعد قيام نظرية المجموعات، طرحاً حاداً من جهة أخرى، فقامت زوبعة من المناقشات الصاخبة في أوساط الرياضيين، خاصة في أوائل هذا القرن، الشيء الذي يعرف في الأدبيات الرياضية بـ «أزمة الأسس».

وسنعالج في هذا الفصل المسألة الأولى، تاركين نظرية المجموعات «وأزمة الأسس» إلى الفصل التالي.

أولاً: مشكلة التوازي والهندسات اللاأوقليدية

أشرنا في الفصل السابق إلى أن أوقليدس قد جمع الأبحاث الرياضية، التي قام بها اليونان ـ في الفترة التي تمتد ما بين القرن السادس والقرن الثالث قبل الميلاد ـ في كتابه المشهور الذي سمّاه **الأصول**، وهو الكتاب الذي ظل، منذ ذلك الوقت وحتى القرن الماضي، أساساً للدراسات الهندسية. وكما هو معروف، فلقد شيّد أوقليدس هندسته على مجموعة من «الفروض» عليها يتوقف صدق النظريات والنتائج. وكل فرض من هذه الفروض يتوقف صدقه هو الآخر على فرض أو فروض أخرى سابقة له. غير أنه إذا رجعنا القهقرى من فرض إلى آخر، فإننا سنجد أنفسنا، في نهاية الأمر أمام عناصر أولية نعتبرها واضحة بذاتها، غير قابلة للبرهان، لأنها هي نفسها أساس البرهان، ولذلك سميت بـ «المبادىء».

لقد ميّز أوقليدس نفسه في هندسته بين ثلاثة أنواع من المبادىء: البديهيات، والمسلّمات والتعاريف.

ـ البديهية Axiome هي قضية واضحة بذاتها إلى درجة أنه لا يمكن أن نتأدى منها إلى ما هو أبسط منها مثل القضية التالية: الكل أكبر من الجزء، أو المساويان لثالث متساويان.

ـ والمسلّمة Postulat قضية غير واضحة بذاتها، ولكن الرياضي يطلب منا التسليم بها دون برهان، مع وعد منه بأنه سيشيّد عليها بناءً رياضياً متماسكاً. فهي إذن مجرد مطلب، وليس هناك ما يبرره سوى كون التسليم به يساعد على تشييد صرح رياضي معين.

ـ أما التعاريف فهي جملة من الحدود التي لا بد من الأخذ بها غير معرفة حتى نستطيع

تعريف الباقي بواسطتها. فكما أننا لا نستطيع الرجوع القهقري بالبرهان إلى ما لانهاية له، بل لا بد من الوقوف عند قضايا معينة نعتبرها بديهيات أو مسلّمات، فكذلك لا يمكن الرجوع القهقري بالتعاريف إلى ما لا نهاية له، بل لا بد من الوقوف عند حدود معينة نقبلها دون تعريف لنتمكن من تعريف الباقي بواسطتها وعلى أساسها.

لقد شيّد أوقليدس إذن هندسته على جملة من البديهيات والمسلمات والتعاريف. وعلى الرغم من أن البديهيات قد اعتبرت دوماً مقبولة، لا غبار عليها، وعلى الرغم من أن التعاريف قد سكت عنها، لأنه لا يمكن التقدم في البحث دون الانطلاق من حدود لا معرّفة، أو غير معرّفة تعريفاً دقيقاً، فإن المسلمات الأوقليدية قد بقيت دوماً مجالاً للشك والتساؤل، خصوصاً وأوقليدس يطلب التسليم بها دون مطالبته بالبرهان، ودون أن يدّعي أنها واضحة بذاتها.

وكانت المسلمة التي أثارت كثيراً من التردد والشك تلك المعروفة بمسلمة التوازي. وتصاغ عادة كما يلي: من نقطة خارج مستقيم يمكن رسم مستقيم واحد فقط موازٍ للأول. ومعلوم أنه على أساس هذه المسلمة يبرهن أوقليدس على عدة قضايا في بنائه الهندسي، ومنها على الخصوص القضية القائلة: إن مجموع زوايا المثلث يساوي دوماً ١٨٠ درجة.

حاول الرياضيون في مختلف العصور، يونان وعرب وغربيون، البرهنة على مسلمة التوازي هذه، والرجوع بها إلى قضايا أبسط منها ولكنهم جميعاً لم يفلحوا، كما أنهم لم يستطيعوا الاستغناء عنها لأن في الاستغناء عنها انهيار للهندسة الأوقليدية كلها.

وإذا كان البحث في هذه المسلمة قد استمر طوال العصر الحديث على يد كبار الرياضيين، فإن المحاولة الجريئة حقاً هي تلك التي قام بها لوباتشيفسكي Lobatchewski (١٧٩٣ - ١٨٥٦). لقد أراد هذا العالم الروسي أن يثبت هذه المسلمة، مسلمة التوازي، بواسطة البرهان بالخلف، ومعلوم أن البرهان بالخلف يقوم على افتراض عكس القضية، حتى أدّى بنا هذا الافتراض، خلال الاستنتاج، إلى تناقض، كان ذلك اثباتاً للقضية الأصلية.

افترض لوباتشيفسكي[1]، إذن، عكس القضية، أي أنه من نقطة خارج مستقيم يمكن رسم، لا موازٍ واحد للأول كما يقول أوقليدس، بل موازيان أو أكثر. وانطلاقاً من هذا الفرض راح يستنتج نتائج، فتوصل إلى عدد من النظريات الهندسية دون أن يوقعه ذلك في تناقض ما، أي دون أن يتأدى إلى بطلان فرضه. وبالتالي فهو لم يتوصل إلى إثبات صحة مسلمة أوقليدس. لقد توصّل فعلاً إلى نتائج مخالفة لتلك التي توصل إليها أوقليدس. من ذلك مثلاً أن زوايا المثلث لا تساوي ١٨٠ درجة، بل أقل من ذلك. إن مخالفة نتائجه لنتائج أوقليدس ليس معناه بطلان الفرض الذي انطلق منه، ولا صحة مسلمة صاحب كتاب

---

(١) كان ذلك عام ١٨٣٠. وفي الوقت نفسه كان هناك عالم هنغاري يعمل بمعزل عن لوباتشيفسكي، وهو بولياي Bolyai، مستعملاً نفس الفرضية، فتوصل إلى نتائج مماثلة. أما ريمان Reimann فقد انطلق عام ١٨٥٤ من فرض آخر كما سنرى.

العناصر، وإنما يعني ذلك فقط أن هناك مقدمات مختلفة أدّت إلى نتائج مختلفة، وهذا شيء طبيعي تماماً. إن الشيء الأساسي الذي كان من شأنه أن يثبت بطلان فرضه، وبالتالي صحة مسلّمة أوقليدس هو وقوعه في تناقض منطقي، أي ظهور تناقض داخلي في النظام الجديد الذي كان يشيده انطلاقاً من فرضه المذكور، وهذا ما لم يحدث. إن وجود تناقض في نظامه الداخلي يعني أن المسلمة الأوقليدية ليست مستقلة عن المسلمات الأخرى، وبالتالي يمكن البرهنة عليها. ولكن بما أن هذا التناقض لم يحدث، فإن المسلمة الأوقليدية مسلمة مستقلة تماماً عن المسلمات الأخرى، وبالتالي فإن أي نظام يشيد على عكسها يمتلك نفس المقدار من المشروعية الذي يمتلكه النظام المشيد عليها هي نفسها، مما يجعل هندسة لوباتشيفسكي تقف، على الأقل، مع هندسة أوقليدس موقف الند للند. وهكذا نصبح أمام هندسات متعددة لا أمام هندسة واحدة.

وقد تعزّز هذا التعدد في الهندسات بقيام محاولة أخرى مماثلة أسفرت عن هندسة جديدة تختلف عن كل من هندسة أوقليدس وهندسة لوباتشيفسكي، نقصد بذلك هندسة ريمان Reimann (١٨٢٦ - ١٨٦٦) الرياضي الألماني الكبير. تجاوز ريمان بدوره مسلّمة التوازي الأوقليدية، واتخذ منطلقاً له مسلّمة أخرى مخالفة. لقد افترض أنه من نقطة خارج مستقيم لا يمكن رسم أي موازٍ له، وأن أي مستقيمين كيفما كان وضعهما لا بد أن يتقاطعا. وانطلاقاً من هذا الفرض الجديد توصل ريمان إلى نتائج جديدة منها أن زوايا المثلث تساوي دوماً أكثر من ١٨٠ درجة.

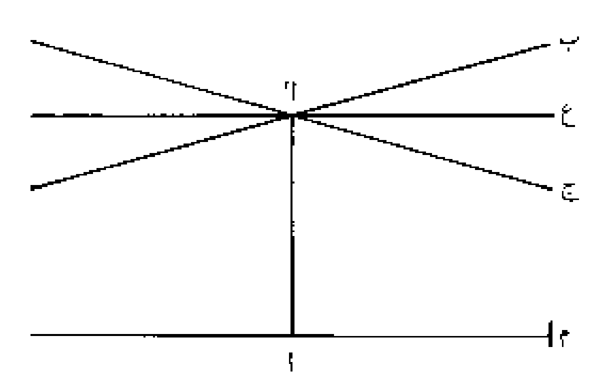
يمكن فهم هندسة ريمان إذا اعتبرنا المكان كروي الشكل كالكرة الأرضية المجسّمة التي يستعملها الجغرافيون لتحديد الأمكنة والبلدان بواسطة خطوط الطول وخطوط العرض. فالمستقيم في هذه الحالة سيكون عبارة عن دائرة كبرى على سطح الكرة، ومعلوم أنه لا يمكن رسم موازٍ لهذا «المستقيم» من نقطة خارجة عنه، أي دائرة أخرى لا تقاطع الدائرة الأولى. ذلك لأن الدائرتين معاً ستلتقيان في نقطتين على الأقل: نقطة القطب الشمالي ونقطة القطب الجنوبي. والمثلث المرسوم على هذه الدائرة ستكون زواياه أكثر من ١٨٠ درجة. بإمكاننا أن نرسم مثلاً مثلثاً على الشكل التالي: نتخذ خط الطول المار من غرينتش ضلعاً لهذا المثلث، ثم نرسم عموداً عليه (٩٠ درجة) من خط الاستواء، ثم نأخذ الضلع الثالث من إحدى خطوط الطول شرقاً بحيث يكون عمودياً (٩٠) على الضلع الثاني المرسوم على خط الاستواء. وبإمكاننا أن نجعل هذا الضلع الثالث عمودياً أيضاً على الضلع الأول (خط غرينتش) وبذلك تصبح زوايا المثلث مساوية لـ: ٩٠ × ٣ = ٢٧٠ درجة(٢).

أما بالنسبة إلى فرضية لوباتشيفسكي فيمكن أن نأخذ عنها فكرة بالرسم التالي: ليكن المستقيم «م» والنقطة «أ» خارج هذا المستقيم (كما في الشكل). لنرسم أ أ′ عمودياً على المستقيم «م» نازلاً من أ وساقطاً على أ. لنرسم كذلك أ ع عمودياً على أ أ′ في نقطة أ.

---

(٢) Walter Warwick Sawyer, *Introduction aux mathématiques*, petite bibliothèque; 81 (Paris: Payot, 1966), p. 95.

تفترض الهندسة الأوقليدية أن جميع المستقيمات المارة من أ في المستوى «أ م» والمتميزة عن المستقيم «ع» تلتقي كلها مع المستقيم «م»؛ أي تقاطع المستقيم الأول. إذن هناك موازٍ واحد لمستقيم «م» هو المستقيم «ع». أما في هندسة لوباتشيفسكي فإننا نفترض أن المستقيمات المنطلقة من «أ» على المستوى «أ م» تنقسم إلى مجموعتين: مجموعة تقاطع المستقيم «م» ومجموعة لا تقاطعه. وهاتان المجموعتان يفصل بينهما المستقيمان «ب»، و«ج» اللذين لا يقاطعان المستقيم (م) وبالتالي يوازيانه. إنهما المستقيمان المرسومان من «أ» ويوازيان «م»[3].



هناك إذن ثلاث امكانات: إما موازٍ واحد فقط يرسم من نقطة خارج المستقيم، وإما موازيان اثنان (أو أكثر) يرسمان من نفس النقطة، وإما لا موازٍ قط. والنتيجة إما أن تكون زوايا المثلث تساوي ١٨٠ درجة، وإما أن تساوي أقل، وإما أن تساوي أكثر. وإذا نحن فكرنا قليلاً في هذه الاحتمالات وجدنا أن الأمر يتعلق في الحقيقة بنوع تصورنا للمكان. لقد تصور أوقليدس المكان مستوياً مسطحاً فكانت النتيجة هي هندسته المعروفة (الهندسة المستوية). أما هندسة لوباتشيفسكي فتصور المكان على شكل مقعّر. ومعلوم أن زوايا المثلث في هذه الحالة ستكون أضيق من الحالة الأولى، أي أقل من ١٨٠ درجة. أما هندسة ريمان فتعتبر المكان كروي الشكل. ومعروف أن المثلث المرسوم على الكرة تكون زواياه منفرجة، وبالتالي تساوي أكثر من ١٨٠ درجة.

فأي هذه الاحتمالات هو الصحيح؟

إن عالم الهندسة القديم يجيب بأن الاحتمال الأول هو الصحيح وحده. لأنه يفكر في إطار الهندسة الأوقليدية وحدها. أما عالم الهندسة المعاصرة فإن الأمر عنده يختلف تماماً. إنه

(٣) Godeaux, *La Géométrie*, texte cité par: Simone Daval et Bernard Guillemain, *Philosophie des sciences*, cours de philosophie et textes choisis (Paris: Presses universitaires de France, 1950).

ينظر إلى كون زوايا المثلث تساوي ١٨٠ درجة أو أقل أو أكثر، على اعتبار أن المسألة تتعلق بثلاث نظريات متمايزة، لا ينفي بعضها بعضاً إلاّ داخل منظومة هندسية معينة، يؤخذ فيها كفرض، أي كمسلّمة أحد الفروض الثلاثة: مواز واحد، أو موازيان، أو لا مواز إطلاقاً. على أن هذه النظريات الثلاث الخاصة بقيمة زوايا المثلث تصبح غير متناقضة، وبالتالي متوافقة، في منظومة هندسية مفتوحة، وأكثر عمومية، تركت فيها مسألة عدد المتوازيات الممكن رسمها من نقطة خارج مستقيم، مسألة معلقة.

وهكذا يبدو واضحاً أن التساؤل عمّا إذا كانت هذه الهندسة أو تلك هي الصحيحة، تساؤل لا معنى له كما يقول بوانكاريه. ذلك لأن الجواب عن هذا السؤال يتطلب البحث عمّا إذا كانت الأوليات التي تبنى عليها هندسة من الهندسات أحكاماً تركيبية أولية (كما كان يعتقد كانت). وفي نظر بوانكاريه، فإن الأوليات الهندسية، ليست أحكاماً تركيبية أولية، ولا حوادث تجريبية، بل هي مجرد مواضعات Conventions، أي قضايا نتفق عليها. وإذا كان اختيارنا لهذه الأولية بدل تلك اختياراً تقوده التجربة، فإن هذا الاختيار يبقى مع ذلك حرّاً، ولا يحده إلاّ ضرورة تجنّب الوقوع في التناقض، ولذلك يمكن أن تظل الأوليات صحيحة حتى ولو كانت القوانين التجريبية التي وجهت اختيارنا لها غير صحيحة إلاّ نسبياً وتقريبياً. إن الأوليات في نظر بوانكاريه ليست سوى تعاريف مقنعة Définitions déguisées. ولذلك يكون التساؤل عمّا إذا كانت هندسة أوقليدس أو هندسة ريمان صحيحة أو غير صحيحة تساؤلاً لا معنى له. إن من يطرح هذا السؤال هو كمن يسأل أيّهما صحيح: القياس بالمتر أم القياس بالياردة أو الذراع؟ ومن هنا يستخلص بوانكاريه النتيجة التالية وهي: إن هندسة ما، لا يمكن أن تكون صحيحة أكثر من الأخرى، بل يمكن فقط أن تكون أكثر ملاءمة Plus comode. إن الهندسة الأوقليدية في نظره أكثر «ملاءمة» لنا لأنها أكثر بساطة من جهة، ولأنها من جهة ثانية تنطبق على خصائص الأجسام الصلبة الطبيعية[٤].

هل أصبحت الحقيقة الرياضية، التي كانت إلى عهد قريب لا تعلوها أية حقيقة أخرى، عبارة فقط عن الحقيقة «الملائمة»؟

لقد استغلت فكرة الملاءمة هذه استغلالاً كبيراً في بداية هذا القرن، خاصة من طرف أصحاب الفلسفة البراغماتية النفعية الذين جعلوا منها «الأساس الرياضي العلمي» لفلسفتهم التي تجعل المنفعة مقياساً للحقيقة.

ولكن هذه الدعوى ـ دعوى الملاءمة ـ سرعان ما تعرّضت لانتقادات شديدة عزّزتها فيما بعد نظرية النسبية المعممة التي قال بها اينشتين. ذلك لأنه إذا كانت الهندسة الأوقليدية هي أكثر ملاءمة بالنسبة إلى ما ألفناه واعتدناه في هذا العالم الذي نعيش فيه فإنها غير ملائمة لعوالم

---

(٤) Henri Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, préface de Jules Vuillemin, science de la nature (Paris: Flammarion, 1968), pp. 74-76.

أخرى خاصة. إن نظرية النسبية المعممة التي تتلاءم أكثر مع إحدى الهندسات اللاأوقليدية، هي هندسة ريمان بالذات.

لنترك الآن نظرية النسبية، فنتعرف عليها في الجزء الثاني من هذا الكتاب. ولننظر إلى النتائج المنهجية المترتبة عن عمل كل من لوباتشيفسكي وريمان.

ثانياً: الرياضيات نظام فرضي استنتاجي (الأكسيوماتيك)

من النتائج الأساسية التي أسفر عنها قيام هندسات لاأوقليدية تغير نظرة الرياضيين إلى المبادىء التي يشيدون عليها صروحهم الرياضية. لقد أصبح الآن التمييز في مبادىء البرهان الرياضي بين «البديهيات» والمسلمات أمراً ثانوياً، إنها تؤخذ جميعها كمجرد فروض، أو منطلقات افتراضية، دون سابق تأكيد لصدقها أو اهتمام بالبرهنة عليها. إنها فروض لا يخامر واضعها شك في صحتها أو عدم صحتها. فهو يضعها خارج منطقة الصدق والكذب أو الصحة والخطأ، إنها بتعبير بوانكاريه مجرد مواضعات.

والواقع أنه لم يكن من السهل دوماً التمييز في مبادىء البرهان الرياضي بين «البديهيات» و «المسلمات» إذ كثيراً ما كانت القضية الواحدة تعتبر عند بعض العلماء بديهية، وعند آخرين مسلّمة. وإذا كان التمييز بينهما قد ارتكز طوال قرون خلت على كون البديهية تتصف بـ البداهة العقلية وتؤخذ كقضية تحليلية «تفرض نفسها على العقل فرضاً»، في حين أن المسلمة لا تتصف بمثل هذه الدرجة من البداهة والوضوح، إذ يمكن على كل حال تصور نقيض لها حتى ولو بصعوبة، ومن ثمة ينظر إليها كقضية تركيبية، فإن هذا التمييز لم يكن واضحاً في يوم من الأيام. فعلاوة على أن البداهة ليست واحدة عند جميع الناس، (البداهة عند ديكارت ليست هي البداهة عند سبينوزا أو كانت أو برغسون) فهي تختلف أيضاً باختلاف ميادين البحث، حتى في ميدان الرياضيات نفسها. إن القضية القائلة: الكل أكبر من الجزء قد اعتبرت دوماً قضية بديهية، ولكنها بالنسبة إلى الرياضيات الحديثة، ليست قضية صحيحة إلا في ميدان المجموعات المتناهية، وبالتالي فهي ليست قضية تحليلية، بل نتيجة مواضعة واتفاق.

ليس هناك، إذن، أي اعتبار خاص للبديهية على المسلمة، بل هما، في الفكر الرياضي الحديث (الذي يعد قيام الهندسات اللاأوقليدية منطلقاً له) مجرد فرض يتم قبوله على أساس اختيار واع، لا على أساس «طبيعته» الخاصة. لقد أصبح المهم في قضية من القضايا التي تتخذ أساساً يشيّد عليه البرهان الرياضي هو الدور الذي تلعبه هذه القضية في هذا البناء، لا مقدار ما تتمتع به من الوضوح أو البداهة.

واضح أن هذا الموقف الجديد ازاء مبادىء البرهان الرياضي يشكّل تحوّلاً جذرياً في الآفاق الرياضية كلها. ذلك لأنه إذا كان الدور الذي تلعبه القضايا الأولية التي يقوم عليها البرهان الرياضي هو وحده المهم، لا طبيعة هذه القضايا نفسها، فسيصبح من الممكن تنويع

النظريات الرياضية بتنويع اختيارنا للمبادىء التي نعتمد عليها. وهذا فعلاً أدّى إلى قيام هندسات غير أوقليدية، وفتح للرياضيات آفاقاً واسعة لم تكن ترتادها من قبل.

وهنا لا بد من ملاحظتين، دفعاً لكل لبس:

- إن اختيار المبادىء أو الأوليات، ولو أنه يتم بشكل اعتباطي تحكمي، فإنه يخضع مع ذلك لشروط ومتطلبات دقيقة، سنذكرها بعد قليل.

- إن هذا التصور الجديد لطبيعة المبادىء أو الأسس قد انعكس أثره على البرهان الرياضي نفسه. لقد كان ينظر إلى البرهان الرياضي، قديماً، على أنه برهان يؤدي إلى نتائج ضرورية. كان لسان حاله يقول: بما أن هذه المبادىء صحيحة صحة مطلقة، فإن القضايا التي تنتج عنها صحيحة صحة مطلقة كذلك (القياس الضروري عند أرسطو). أما اليوم فإن البرهان الرياضي أصبح أكثر «تواضعاً». إنه يشير فقط إلى أنه: إذا وضعنا هذه المبادىء أساساً للاستنتاج، فهذه هي النتائج الصورية التي تترتب عنها. إن الضرورة في البرهان الرياضي لم تعد تخص القضايا المبدئية نفسها، بل فقط الرابطة المنطقية التي تجمع بينها في النسق الاستدلالي. ولذلك أصبحت الرياضيات تنعت اليوم بأنها نظام فرضي - استنتاجي Système hypothetico-déductif، أي بناء فكري يتم تشييده بواسطة فروض وقع عليها الاختيار، دون النظر إلى صدقها أو كذبها. إن الصدق الوحيد المطلوب هو خلوّ هذا البناء من أي تناقض داخلي.

إن هذا التصور الجديد لمبادىء البرهان الرياضي ولطبيعة هذا البرهان نفسه قد أدى، بطبيعة الحال، إلى تصور جديد للحقيقة الرياضية عموماً، والحقيقة الهندسية خصوصاً. لقد كان ينظر عادة إلى نظرية ما من نظريات الهندسة على أنها، في آن واحد، تعبير عن الواقع الموضوعي، وبناء فكري مجرد، أو أنها، معاً، قانون من قوانين الطبيعة وجزء من منظومة عقلية. وبعبارة أخرى لقد كانت الحقيقة الهندسية حقيقة واقعية وحقيقة فكرية معاً. أما اليوم فإن الهندسة تهمل الجانب الأول (ما يتعلق بالواقع) وتتركه للهندسة التطبيقية، ولا تحتفظ إلا بالجانب الثاني (ما يتعلق بالعقل). وبناء على ذلك أصبحت الحقيقة المعزولة في ميدان الهندسة النظرية شيئاً لا وجود له: إن صدق أية نظرية هندسية هو دخولها في منظومة معينة واندماجها فيها. ولذلك فمن الممكن جداً أن تكون النظريات الهندسية المتناقضة، والتي ينفي بعضها بعضاً، صادقة جميعاً، باعتبار أنها تنتمي إلى منظومات هندسية مختلفة. أما بالنسبة إلى هذه المنظومات نفسها، فإنه لا معنى للقول إنها صادقة أو غير صادقة، إلاّ إذا كان المقصود بذلك صدقها المنطقي، أي اتساقها وخلوّها من التناقض الداخلي.

لقد أكّدنا آنفاً أن المهم في الأوليات هو الدور الذي تلعبه في البناء الرياضي المشيد عليها لا طبيعتها الخاصة. وبعبارة أخرى: إن المهم، ليس الأوليات، بل العلاقة التي تقوم بينها. ومن أجل أن يتمكن الرياضي من الانصراف التام إلى العلاقات وحدها، ولكي يتحرّر تحرّراً تاماً من تأثير المعنى الواقعي المشخص الذي تحمله الأوليات، يلجأ إلى استعمال الرموز، وبالتالي الاستغناء عن اللغة العادية تماماً. فهو لم يعد يحتاج إلى القول: إن هذه النقطة توجد

على هذا المستقيم، أو أن هذا المستقيم مرسوم على ذلك السطح، هكذا بالكلام العادي، بل إنه «يقول» ذلك بواسطة رموز خاصة يختارها، دون أن يتقيد بأي مدلول معين لها. إنها رموز عامة يمكن أن نضع مكانها أية كلمة شئنا، وبذلك يتحوّل الكلام العادي إلى جبر. وبعبارة أخرى يندمج المنطق في الجبر والجبر في المنطق. إن هذا هو ما يسمى بالرمزية Formalisme (أو الصياغة الصورية المحض).

ولهذا يجب أن يأخذنا العجب إذا قرأنا في مقدمة كتاب العالم الرياضي الألماني الشهير ديفيد هلبر David Hibert (١٨٦٢ - ١٩٤٣) الذي قام لأول مرة بصياغة الهندسة الأوقليدية صياغة أكسيومية، العبارات التالية، حيث يقول: «لنتخيل ثلاث منظومات من الكائنات:

كائنات المنظومة الأولى نسميها نقطاً ونرمز إليها بـ : A, B, C

وكائنات المنظومات الثانية نسميها مستقيمات ونرمز إليها بـ : a, b, c

وكائنات المنظومة الثالثة نسميها مستويات ونرمز إليها بـ : α, β, γ.

فالمسألة، كما هو واضح، مسألة تسمية فقط، أي مسألة مواضعة واتفاق. ولكي يبرز هلبر كون العلاقات بين الأوليات هي التي تهم، لا الأوليات نفسها قال: «بدلاً من الكلمات الآتية: نقطة، مستقيم، مستوى، التي نستعملها في الهندسة، يمكن أن نضع مكانها كلمات أخرى مثل، طاولة، كرسي، كأس بيرة، دون أن نخشى أي تناقض»!

العناية الشديدة بالصياغة الصورية (الرمزية)، الانطلاق من فروض (أو مسلّمات) واعتبارها مجرد مواضعات... كل ذلك يشرح لنا ما قصده برتراند راسل حينما قال: «الرياضيات علم لا يدري فيه الانسان أبداً عمّا يتحدث، ولا يعلم هل ما يقال فيه صحيح أم لا». (الجملة الأولى اشارة إلى الصورية (الرمزية) والعبارة الثانية إشارة إلى كون الحدود والقضايا الأولية تؤخذ كمواضعات فقط).

ثالثاً: شروط البناء الأكسيومي وخصائصه

إن مجموع الأوليات (الأكسيومات) التي يختارها الرياضي لتشييد صرح بناء رياضي معيّن يشكّل هو وهذا البناء نفسه باعتباره بناء منطقياً متماسكاً، ما يطلق عليه اسم الاكسيوماتيك[٥] Axiomatique. فالأكسيوماتيك، إذن، **هو منظومة من الأوليات يقوم عليها** بناء رياضي معين، بناء يختلف عن بناء رياضي مماثل باختلاف الأوليات التي يقوم عليها كل منها. فالهندسة الأوقليدية وهندسة لوبتشيفسكي وهندسة ريمان وغيرها من الهندسات اللاأوقليدية الأخرى يشكّل كل منها اكسيوماتيكاً خاصاً، يختلف عن غيره باختلاف أولياته أو

---

(٥) يعرب بعض المؤلفين العرب المعاصرين كلمة اكسيوماتيك تارة بـ «المنهاج الاستدلالي» وتارة بـ «منظومة الأوليات» أو «نسق البديهيات»... الخ. ونحن نفضل الاحتفاظ بالكلمة الأجنبية معربة دفعاً لكل التباس، فضلاً عن أنها أصبحت مصطلحاً عالمياً.

بعض منها أو إحداها. . . وقد رأينا قبل أن هندسة أوقليدس وهندسة لوباتشيفسكي وهندسة ريمان تختلف عن بعضها بعضاً باختلاف أولية واحدة، هي مسلّمة التوازي.

هذا، وإذا كان هلبر هو أول من صاغ الهندسة الأوقليدية صياغة أكسيومية حديثة فإن العالم الرياضي الألماني موريس باش Pasch هو أبو الأكسيوماتيك الحديث حقاً. فلقد حاول سنة ١٨٨٢ صياغة الهندسة صياغة أكسيومية واضعاً الشروط الضرورية التي لا بد أن تتوفر في كل أكسيوماتيك من هذا النوع. يقول: «لكي تصبح الهندسة علماً استنتاجياً حقاً، يجب أن تكون الكيفية التي نستخلص بها النتائج مستقلة تماماً، ومن جميع الوجوه، عن مدلول المفاهيم الهندسية، وعن الأشكال كذلك. إن ما يجب أخذه بعين الاعتبار هو، فقط، العلاقات التي تقيمها القضايا (وهي هنا بمثابة تعاريف) بين المفاهيم الهندسية. على أنه قد يكون من المناسب، ومن المفيد، التفكير، خلال الاستنتاج، في مدلول المفاهيم الهندسية المستعملة، ولكن هذا ليس ضرورياً بالمرّة، وذلك إلى درجة أنه إذا شعرنا بضرورة التفكير في معاني تلك المفاهيم، فإن ذلك، بالضبط، دليل على أن هناك ثغرة في الاستنتاج الذي نقوم به. وإذا كانت هذه الثغرة لا يمكن التغلب عليها بإدخال تعديل على استدلالاتنا، فإن هذا دليل أيضاً على أن هناك نقصاً في القضايا المتخذة وسائل للبرهان»[٦].

وعلى هذا الأساس يحدّد باش الشروط الأساسية التي يجب أن تتوفر في كل بناء علمي استنتاجي (اكسيومي) يطمح إلى أن يتصف بالصرامة الحقيقية، كما يلي:

١ ـ يجب النصّ صراحةً على الحدود الأولية (المفاهيم والألفاظ) التي نعتزم أن نعرف بها جميع الحدود الأخرى.

٢ ـ يجب النصّ صراحةً على القضايا الأولية التي نعتزم أن نبرهن بواسطتها على جميع القضايا الأخرى.

٣ ـ يجب أن تكون العلاقات المقامة بين الحدود الأولية علاقات منطقية محض. ويجب أن تبقى هذه العلاقات مستقلة عن المعنى المشخص الذي يمكن اعطاؤه لتلك الحدود.

٤ ـ يجب أن تكون هذه العلاقات هي وحدها التي تتدخل في البرهان، وذلك باستقلال تام عن معاني الحدود (الشيء الذي يعني الامتناع كلياً عن الاستعانة بطريقة ما بالأشكال الهندسية).

وهكذا تنطلق كل نظرية رياضية اكسيومية من منطلقين:

ـ الحدود الأولية التي نأخذها بدون تعريف لأنها ستكون وسيلة وأداة لتعريف باقي

---

(٦) ذكره بلانشي في كتابه القيم الذي نعتمد عليه هنا خاصة. انظر:
Robert Blanché, *L'Axiomatique*, initiation philosophique; 17 (Paris: Presses universitaires de France, 1970), p. 30.

الحدود. وذلك مثل: النقطة، المستقيم، المستوى، في الهندسة، ومثل المجموعة، العنصر، الانتماء، بالنسبة إلى نظرية المجموعات.

ـ المسلمات أو القضايا الأولية التي نعتبرها هي الأخرى صحيحة بالتعريف.

على أن الإلحاح هنا على التنصيص صراحة على جميع الحدود التي بواسطتها نعرف الحدود الأخرى، وعلى القضايا التي بواسطتها نبرهن على القضايا الأخرى، يطرح مشكلتين: مشكلة الأسبقية، ومشكلة التصريح نفسه.

بالنسبة إلى المشكلة الأولى يتعلق الأمر ببعض الألفاظ والقواعد المنطقية والحسابية التي سنضطر حتماً إلى الارتكاز عليها أو الاستعانة بها، وإلاّ أصبح الكلام (والتفكير) مستحيلاً. وذلك مثل واو العطف وكلمة «أو» ولام التعريف «أل»، وكلمة «كل» وكلمة «بعض» إلى غير ذلك من الألفاظ المنطقية التي تبين العلاقة بين الحدود والقضايا. وكذلك الشأن بالنسبة إلى القاعدة المنطقية المعروفة، قاعدة التعدي بالتضمن (أو اللزوم) (إذا كانت أ تتضمن ب، وب تتضمن ج، فإن أ تتضمن ج)، أضف إلى ذلك الأعداد الحسابية التي نستعملها... الخ. كل ذلك يفرض أسبقية المنطق والحساب، الشيء الذي يضعنا أمام صعوبة التمييز بين ما نعتبره خاصاً بالبناء الأكسيومي الذي نعمل على تشييده وبين ما يجب أن نعتبره سابقاً عليه. وللتغلب على هذه الصعوبة وتجنباً لكل إشكال أو التباس، يعمد الرياضي عادة إلى الإشارة أولاً إلى العلوم التي سيستعين بها خلال عملية البناء الأكسيومي، وبالتالي التصريح بأسبقيتها.

أما بالنسبة إلى مشكلة التصريح نفسه فليس من الضروري التصريح دفعة واحدة بجميع الحدود والقضايا الأولية، بل إنه من الأفضل، توخياً للتخفيف، الإعلان عنها تدريجياً، أي عند الحاجة فقط، شريطة أن يتم ذلك قبل الاتيان بالنتائج التي يراد استخلاصها منها.

وهكذا فأسبقية الحدود والقضايا الأولية أسبقية نسبية فقط، وكذلك الشأن في مسألة الأولوية ذاتها. ذلك لأنه من الممكن تعريف الحدود الأولى المأخوذة بدون تعريف بواسطة الحدود الأخرى التي كنا نروم تعريفها بالأولى. وبعبارة أخرى أن الأصل يمكن أن يصبح مشتقاً، وهذا المشتق يمكن أن يصبح أصلاً. فإذا انطلقنا من النقطة واعتبرناها أصلاً، أي حداً غير معرّف، نعرّف بواسطته المستقيم بكونه «أقصر مسافة بين نقطتين»، فإنه من الممكن اتخاذ المستقيم نفسه، وهو هنا حد مشتق، أساساً لتعريف النقطة، أي اتخاذه حداً أصلياً أولياً، فنقول: «النقطة هي «مكان» تقاطع مستقيمين». ومثل ذلك أيضاً القضية القائلة إن مجموع زوايا المثلث تساوي ١٨٠ درجة والتي نعتبرها نتيجة لقضية أولية أخرى هي مسلمة التوازي، فمن الممكن اتخاذها قضية أولية نبرهن بها على مسلمة التوازي ذاتها، وهكذا.

غير أن الشكل الأساسي الذي تطرحه هذه الحدود اللامعرّفة والقضايا الأولية غير المبرهن عليها، هو مشكل معناها: لقد أكدنا من قبل على أن المهم في هذه الحدود والقضايا

الأولية هو الدور الذي تقوم به في البناء الأكسيومي، لا طبيعتها أو معناها الخاص بها، ومع ذلك فلا بد أن يكون لهذه اللامعرفات معنى ما. وإلّا فكيف نتعامل مع ما «لا معنى له»؟

يمكن القول مبدئياً إن هذه «اللامعرفات» Les indéfinissables ستكتسب معناها من السياق. ومعلوم أن السياق ـ سياق الجملة ـ هو الذي يعطي للكلمة مدلولها الخاص. ونحن نعرف أن الطفل يتعلّم معنى الكلمات باستعمالها في جمل، كما أننا نفهم كثيراً من الكلمات في اللغات الأجنبية من خلال الجملة. إن هذا النوع من التعريف ـ التعريف بالسياق ـ تعريف غير مباشر، وهو أشبه ما يكون بمعادلة رياضية ذات مجهول واحد. فكما أننا نفهم معنى هذا المجهول ـ أي نتبين قيمته ـ من خلال تركيب المعادلة، فكذلك الشأن بالنسبة إلى اللامعرفات في المنظومة الأكسيومية.

من هنا يتضح بصورة أكثر جلاء، ما قلناه قبل من أن الأوليات التي تقوم عليها نظرية استنتاجية ما، ليست قابلة لأن توصف بالصدق أو الكذب، لأنها تشتمل على متغيرات غير محددة نسبياً، هي بالضبط تلك اللامعرفات، وتلك القضايا غير المبرهن عليها. وعندما نعطي لهذه المتغيرات قيمة ما، أي عندما نحوّلها إلى ثوابت، عندئذ فقط تصبح المسلّمات صادقة أو كاذبة، وصدقها أو كذبها سيبقى معلقاً باختيارنا لـ «الثوابت» التي جعلناها تحلّ محل المتغيرات المذكورة. وفي هذه الحالة نخرج من دائرة الأكسيوماتيك لندخل في ميدان تطبيقاته.

إن هذا الذي قلناه بصدد التعريف بالسياق قد لا يثير أي اعتراض أو مناقشة. ولكن هذا لا يعني أن مشكلة التعريف في الرياضيات يمكن حلّها نهائياً بهذه الطريقة. إن المسألة أعوص من ذلك وأكثر تعقيداً؟ ذلك لأن التعريف بالسياق يتطلب أن تكون عناصر السياق معروفة، ما عدا المجهول منها طبعاً. فلا بد إذن من معرّفات تستقي منها اللامعرّفات معناها ضمن السياق!

يقول اميل بوريل[7] E. Borel الرياضي الفرنسي المعروف: إن ما يميّز الأوليات الرياضية عن حدود المنطق وعناصر لعبة الشطرنج مثلاً هو أنها مستقاة بالتماثل والتشابه من الأشياء الحسية التجريبية (الخط الهندسي يشبه الخيط الممدود بين مسمارين في العالم الواقعي، وكذلك الشأن في الدائرة والأشكال الهندسية الأخرى). أما الكائنات الرياضية الأخرى التي ليس لها ما يقابلها في العالم الواقعي مثل الأعداد التخيلية، فإنها تكتسب مشروعيتها من كونها تساعدنا على حل مشاكل رياضية وفيزيائية بطريقة أسهل.

الواقع أن المشكلة، في الحقيقة، هي مشكلة طبيعة الكائنات الرياضية هل هي من أصل تجريبي أم أنها مجرد أسماء (النزعة الاسمية) أم أنها كائنات ذهنية لها وجود واقعي في عالم الذهن (النزعة الواقعية، المثالية الأفلاطونية)... وتلك مشكلة سنعالجها في فصل

---

(٧) انظر مقالته حول «التعريف في الرياضيات» في: François Le Lionnais, *Les Grands courants de la pensée mathématique*, nouvelle éd. augmentée, l'humanisme scientifique de demain (Paris: A. Blanchard, 1962).

خاص[8]. أما الآن فعلينا أن نسترسل في شرح وتحليل الخصائص والميزات التي يتصف بها - أو يجب أن يتصف بها - كل بناء أكسيومي حتى يكون مستوفياً الشروط المطلوبة.

هناك خاصيتان أساسيتان لا بد منهما في كل بناء أكسيومي، ألمحنا إليهما قبل، هما: استقلال أولياته بعضها عن بعض، وعدم تناقضها في ما بينها. فكيف يمكن التأكد من هذا وذاك؟

يمكن القول بصفة عامة إن أوليات أكسيوماتيك ما، تكون مستقلة عن بعضها بعضاً، عندما لا يكون في الإمكان البرهنة على أي منها بواسطة الباقي، أما عندما يغدو في الامكان ذلك فإن الأولية المبرهن عليها تصبح نظرية. ففي الهندسة الأوقليدية مثلاً تعتبر القضية القائلة إن زوايا المثلث تساوي ١٨٠ درجة نظرية، لأنه يبرهن عليها بواسطة مسلمة التوازي، وهي أولية مستقلة عن باقي الأوليات الأوقليدية الأخرى، كما لاحظنا ذلك قبل عندما كنا بصدد هندسة لوباتشيفسكي. فلو لم تكن هذه القضية مستقلة لما أمكن قيام هذه الهندسة.

أما بخصوص عدم تناقض الأوليات فإن المسألة أكثر صعوبة. قد يقال مثلاً يجب تطبيق الأكسيوماتيك على التجربة فهي التي تمكننا من التعرف على تناقض أو عدم تناقض أولياته، وهذا صحيح. ولكن ليس من الضروري أن يكون الأكسيوماتيك - وهو بالتعريف بناء نظري محض - قابلاً للتحقق منه بالتجربة على الأقل في مرحلة ما من مراحل تقدم العلم. فالهندسة التي شيّدها ريمان، مثلاً، كانت غير قابلة للتطبيق على العالم الواقعي حتى جاء أينشتين ويرهن بنظريته النسبية على أنها أكثر ملاءمة من الهندسة الأوقليدية.

هناك طريقة يمكن اتخاذها معياراً لعدم التناقض وهي مستوحاة من الطريقة التي تستعمل للتأكد من استقلال الأوليات، وتتلخص في البرهنة على نظرية ما وعلى عكسها داخل بناء أكسيومي معين. فكلما كان ذلك ممكناً، كان هذا الأكسيوماتيك يشتمل، على الأقل، على أوليتين متناقضتين. غير أن هذا المعيار، وإن كان وحده الصالح لمعرفة ما إذا كانت أوليات أكسيوماتيك ما متناقضة أو غير متناقضة، ليس من السهل تطبيقه دوماً. ذلك لأن النتائج والنظريات التي يمكن تشييدها داخل أكسيوماتيك ما، هي في الغالب، غير محدودة. فمن الصعب جداً استنفاد جميع النتائج التي يسمح بها بناء أكسيومي ما، الشيء الذي يترك احتمال الوقوع في التناقض احتمالاً قائماً. إن مسألة التناقض هذه هي إحدى الصعوبات التي لم يتغلب عليها بعد أنصار هذا الاتجاه الأكسيومي تغلباً تاماً، ولذلك فهي ما تزال إحدى الصعوبات الأساسية المعلّقة.

إن خاصيتي الاستقلال وعدم التناقض شرطان ضروريان في كل بناء أكسيومي، وهناك خصائص أخرى ليست في مثل هذه الضرورة، ولكن قد يتصف بها البناء النظري الذي من هذا النوع، منها:

---

(٨) انظر الفصلين الرابع والخامس من هذا الكتاب.

١ ـ **الانغلاق والانفتاح**: يقال عن أكسيوماتيك ما انه منغلق Saturé عندما لا يكون في الإمكان اضافة أولية مستقلة جديدة إلى أولياته، وإلا أدى ذلك إلى إحداث تناقض فيه، ويكون منفتحاً Ouvert في الحالة المخالفة. ومن الممكن «فتح» الأكسيوماتيك المغلق بأن تنزع منه إحدى أولياته. وفي هذه الحالة يصبح ضعيفاً من حيث التضمن، غنياً من حيث الاستغراق[٩] (التضمن Compréhension، الاستغراق Extention).

٢ ـ **التكافؤ** L'équivalence: يكون بناء أكسيومي ما مكافئاً لبناء أكسيومي آخر، إذا كان الاختلاف بينهما قائماً فقط في الصياغة والتركيب، أي إذا كانا معاً مؤسسين على نفس الحدود والقضايا التي تؤخذ في أحدهما على أنها أوليات، وتؤخذ في الآخر على أنها مشتقات. وبعبارة أخرى يقال عن نظامين أكسيوميين أنهما متكافئان إذا كانت كل قضية في الأول يمكن البرهنة عليها في الثاني أو العكس. وأيضاً إذا كان كل حد في الأول يمكن تعريفه بواسطة حدود الثاني، أو العكس.

٣ ـ **التقابل** Isomorphisme (من iso ومعناها: نفس، و forme معناها الشكل أو الصورة): بما أن الأكسيوماتيك بناء نظري مجرد، فإنه من الممكن اعطاؤه تحقيقات مشخصة مختلفة، وتسمى بـ «الطرز»، فعندما تكون هذه الطرز لا تختلف فيما بينها إلا بتعدّد الدلالات المشخصة التي تعطيها للأوليات التي تقوم عليها، وعندما تعود ـ أي الطرز نفسها ـ لتتطابق مع بعضها بعضاً، عندها نهمل تلك الدلالات المشخصة ونقصر اهتمامنا على الجانب الصوري المجرد وحده، فإنها أي الطرز تسمى حينئذ بـ الطرز المتقابلة Modèles isomorphes أي التي لها نفس البنية المنطقية. لنأخذ مثلاً الهندسة الأوقليدية: فإذا غيّرنا، على الأقل، إحدى مسلّماتها (مسلمة التوازي مثلاً) فإننا سنحصل على نظريات، أو هندسات مختلفة (هندسة لوباتشيفسكي، هندسة ريمان. . .) وتسمى في هذه الحالة هندسات متجاورة. وإذا أخذنا الآن إحدى هذه الهندسات وصغناها صياغة منطقية مختلفة (صياغة هلبر وصياغات أخرى. . .) فإننا سنحصل على منظومات اكسيومية متكافئة. أما إذا أخذنا إحدى هذه المنظومات وطبقناها على التجربة، فإنه من الممكن أن نجد لها تحقيقات مختلفة، أي طرزاً جديدة نسميها طرزاً تقابلية أو متقابلة[١٠].

رابعاً: نموذجان: أكسيوماتيك العدد وأكسيوماتيك الهندسة

من المحاولات الرائدة لتأسيس الرياضيات على الطريقة الأكسيومية تلك التي قام بها الرياضي الايطالي بيانو G. Péano (١٨٥٨ ـ ١٩٣٢)، الذي صاغ نظرية أكسيومية للأعداد

---

(٩) التضمن هو مجموع الخصائص التي يشتمل عليها مفهوم من المفاهيم والتي تحدّده تحديداً تاماً. أما الاستغراق أو الشمول فهو مجموعة الأفراد أو العناصر التي يصدق عليها ذلك المفهوم. فتعريف الانسان أنه «حيوان عاقل» تعريف بالتضمن. أما تعريفه بكونه فئة من الكائنات مثل محمد وابراهيم وعلي وأحمد. . . فهو تعريف بالاستغراق.

(١٠) انظر مزيداً من التفاصيل في: Blanché, *L'Axiomatique*, pp. 45 ff.

الطبيعية الصحيحة[11] بناها على ثلاثة حدود أولية هي الصفر، العدد، التالي لـ Le successeur de وخمس قضايا أولية هي:

١ ـ الصفر عدد (طبيعي صحيح).
٢ ـ التالي لعدد عدد.
٣ ـ لا يمكن أن يكون لعددين ما، أو أكثر، نفس التالي.
٤ ـ ليس الصفر تالياً لأي عدد.
٥ ـ إذا كانت خاصية ما تصدق على الصفر، وإذا كانت هذه الخاصية عندما تصدق على عدد ما، تصدق أيضاً على العدد التالي، فإنها تصدق على جميع الأعداد. (مبدأ الاستقراء).

وإذا تأملنا قليلاً هذه القضايا الأولية الخمس نلاحظ:

١ ـ انه بالإمكان تعريف العدد «واحد» بأنه تال للعدد صفر، ثم العدد «اثنان» بأنه تال للعدد «واحد»... وهكذا نسير صعداً مع سلسلة الأعداد.

٢ ـ يمكن أن نعطي للحدود الأولية الثلاثة، أو لبعضها، معنى أو معاني غير تلك المتعارف عليها، ويبقى البناء الأكسيومي سالماً صحيحاً (منطقياً). فإذا احتفظنا لكلمة «تال» بمعناها المعتاد، وجعلنا الصفر يدل على عدد ما، مثل ١٠٠، وعنينا بكلمة «عدد» ما يتلو ١٠٠ من الأعداد فإن القضايا الخمس المذكورة تظل سليمة قابلة للتحقيق، وكذلك الشأن في النظريات التي تستنتج منها. ويمكن كذلك الاحتفاظ للصفر بمعناه المعتاد، وجعل كلمة «عدد» تدلّ فقط على الأعداد الزوجية وكلمة «تال» على التالي الثاني (أي الزوجي). كما يمكن أن نعني بـ «صفر» العدد ١، وبـ «التالي» العدد نصف -. وفي هذه الحالة تدل كلمة عدد على حدود السلسلة الآتية:

$$\frac{١}{٨} \text{ و } \frac{١}{٤} \text{ و } \frac{١}{٢} \text{ و } ١ \ldots$$

وهكذا، فإن ما يعنيه هذا الأكسيوماتيك، ليس فقط الأعداد الحسابية، بل إنه يحدد بنية أعم هي بنية المتواليات على العموم التي تشكّل سلسلة الأعداد الطبيعية مثالاً لها من جملة أمثلة أخرى[12].

٣ ـ أما القضية الخامسة فهي تشير إلى اطراد العمليات الحسابية مثل الجمع والطرح والضرب... الخ، فالعملية الحسابية التي تصدق على عدد ما أو جملة أعداد معينة تصدق

---

(١١) الأعداد الطبيعية الصحيحة (Les entiers naturels) هي سلسلة الأعداد المتداولة (١، ٢، ٣، ٤، ...) وتسمى أيضاً بالأعداد الأصلية.

(١٢) الأمثلة السابقة لبرتراند راسل. انظر تحليله لأكسيوماتيك بيانو في: برتراند راسل، **أصول الرياضيات**، ترجمة محمد مرسي أحمد وأحمد فؤاد الأهواني، مكتبة الدراسات الفلسفية، ٣ ج، ط ٢ (القاهرة: جامعة الدول العربية؛ دار المعارف، ١٩٥٨)، ج ٢ خاصة.

على جميع الأعداد. وهذا ما سمّاه بوانكاريه بـ الاستقراء بالتكرار **Par récurrence induction**[13].

هذا نموذج من أكسيوماتيك العدد. أما في ميدان الهندسة فقد سبقت الإشارة من قبل إلى الرياضي الألماني هلبر الذي أعاد صياغة الهندسة الأوقليدية فعرضها عرضاً أكسيومياً يمتاز بالدقة والوضوح والتماسك المنطقي، وكان ذلك عام ١٨٩٩.

لقد بنى هلبر نظامه الأكسيومي للهندسة الأوقليدية على ٢١ أوليّة. وأوضح أن هذه الأوليات الواحدة والعشرين ضرورية وكافية للبرهنة بدقة وصرامة على جميع القضايا المعروفة في الهندسة الأوقليدية، المستوية منها والفراغية. وإذا كان هلبر قد احتفظ لأولياته بمعاني هندسية حيث يتعلق الأمر بالنقطة والمستقيم والمستوي، فإن ذلك لا يمنع من استبدال هذه المفاهيم الهندسية بكلمات أخرى مثل: طاولة، كرسي، كأس، (أي ثلاثة أنواع من الكائنات، كما أشرنا إلى ذلك قبل) شريطة أن تقبل هذه الكلمات (أو الكائنات) نفس العلاقات التي تربط تلك الأوليات.

لقد حرص هلبر على النص صراحة على جميع الأوليات التي تقوم عليها الهندسة الأوقليدية فمكّنه ذلك من الكشف عن أوليات كانت تستعمل في هذه الهندسة، ولكن بشكل ضمني فقط، أي دون التصريح بها، ثم صنّف مجموع هذه الأوليات إلى خمس مجموعات كما يلي:

١ ـ أوليات الترابط Axiomes d'association وهي تلك التي تقيم رابطة معينة بين الكائنات موضوع الدرس، أي المفاهيم الهندسية الثلاثة: النقطة، المستقيم، المستوي. ومن هذه الأوليات القضايا التالية ـ على سبيل المثال ـ: «النقطتان المتمايزتان تحددان، دوماً، مستقيماً»، و«النقط الثلاث التي لا تقع على مستقيم تحدد مستوياً دوماً»... الخ[14].

٢ ـ أوليات التوزيع Axiomes de distribution وهي تحدّد العلاقة المعبّر عنها بكلمة «بين» entre وتسمح، انطلاقاً من هذه العلاقة، بتوزيع النقط على المستقيم، والمستوي، والفراغ.

٣ ـ أولية التوازي Axiome des parallèles وهي تخص مسلمة أوقليدس المعروفة.

٤ ـ أوليات التطابق Axiomes de congruences وهي تتعلق بالتساوي الهندسي.

٥ ـ أولية الاتصال Axiome de la continuité وتتعلق بما يعرف بـ «بديهية أرخميدس»

---

(١٣) انظر في قسم النصوص نصاً لبوانكاريه يشرح فيه هذا النوع من الاستقراء.

(١٤) للحصول على تفاصيل أوفى، انظر مثلاً: Godeaux, *Les Géométries*, collection Armand Colin (Paris: Armand Colin, [s.d.]).

كما يمكن الرجوع إلى: Ferdinand Gonseth, *Les Fondements des mathématiques de la géométrie d'Euclide à la relativité générale et à l'intuitionisme*, préface de Jacques Hadamard (Paris: A. Blanchard, 1926; 1974).

القائلة: إذا أضفنا بالتتابع جزء المستقيم إلى نفسه مرات متوالية انطلاقاً من نقطة على مستقيم، فإنه يمكن دوماً تجاوز أو تعدي Dépasser أية نقطة في هذا المستقيم، كنقطة ب، مهما بعدت هذه النقطة...

هذا وقد حرص هلبر بالإضافة إلى التنصيص صراحة على جميع الأوليات والبرهنة، انطلاقاً منها، على جميع النظريات المعروفة في الهندسة الأوقليدية، حرص على بيان عدم وجود تناقض بين أولياته، والبرهنة على استقلالها. وقد لجأ في مسألة عدم التناقض إلى استعمال الحساب، حيث أعطى تأويلاً حسابياً لمنظومته الأكسيومية عما أبرز عدم وجود تناقض فيها (مع التسليم طبعاً بعدم تناقض الحساب)[15]. أما بخصوص مسألة الاستقلال فلقد عمد إلى البرهنة على استقلال أولياته ببناء منظومات أكسيومية متماسكة يستغنى فيها عن إحدى الأوليات، كما حدث بالنسبة إلى الهندسة اللاأوقليدية التي شيِّدت بالاستغناء عن مسلمة أوقليدس. وقد برهن هلبر على استقلال مسلّمة الاتصال عند أرخيدس عن هندسة لا أرخيدية.

خامساً: القيمة الابستيمولوجية للمنهاج الأكسيومي

ليس المنهاج الأكسيومي طريقة مبتدعة في التفكير، بل هو أسلوب في الاستنتاج قديم قدم التفكير المنطقي نفسه. وإنما الجديد في الأمر هو صياغة هذه الطريقة كمنهاج مقنن له أصوله وقواعده، هي في الجملة تلك الشروط والخصائص التي شرحناها قبل. إن هذا المنهاج بالنسبة إلى التفكير كقواعد النحو والصرف للغة. فكما أن عرب الجاهلية مثلا كانوا يتحدثون اللغة العربية بطريقة سليمة قبل صياغة قواعدها النحوية والصرفية صياغة مقننة، فكذلك الشأن بالنسبة إلى التفكير الأكسيومي.

وإذن، فإن الأمر هنا لا يتعلق باختراع جديد، بل فقط باستعمال منهجي مقنن لطريقة كانت مستعملة من قبل، بشكل أو بآخر، طريقة ينهجها الفكر البشري، بكيفية لاواعية، سواء في ميدان الرياضيات أو المنطق، أو في ميدان العلوم الاستدلالية الأخرى. إن هذا الاستعمال الواعي الممنهج والمقنن للطريقة الأكسيومية هو ما يشكّل بحق إحدى المعالم الرئيسية التي تبرز أصالة التفكير الرياضي والعلمي المعاصر.

نعم لقد تعرّض هذا المنهج، عندما بدأ يظهر في شكله الحديث، في النصف الثاني من القرن الماضي، لانتقادات شديدة، بدعوى أنه منهج جدب عديم الجدوى، قد يفيد في تنظيم المعارف الموجودة، ولكنه لا يساعد على اكتشاف حقائق جديدة. وكان هناك من رأى فيه مجرد شطحات فكرية، أو مجرد لعبة نظرية شبيهة بلعبة الشطرنج، خصوصاً والمبدأ الأساسي في هذا المنهاج يقضي بضرورة الاغفال التام لمعاني الحدود والقضايا والاهتمام فقط بالعلاقات...

---

(١٥) المقصود بالحساب هنا هو ذلك الفرع المعروف من الرياضيات: علم الحساب في مقابل الهندسة.

كان ذلك بعض أوجه ردود الفعل التي أحدثها الأكسياتيك عندما قام لأول مرة كمنهج واضح المعالم، محدد القواعد. . . أما اليوم، وبعد أن برهنت الطريقة الأكسيومية عن فعاليتها منذ مطلع هذا القرن، ليس في ميدان الرياضيات وحسب، بل أيضاً في ميدان العلوم التجريبية التي بلغت درجة راقية من التجريد كالفيزياء النظرية، فلا أحد ينازع في كون هذا المنهاج هو أحد الأركان الرئيسية التي قامت عليها ـ وتقوم ـ الثورة العلمية المعاصرة.

ويهمنا هنا أن نشير بإيجاز إلى بعض جوانب الحصيلة العلمية والفلسفية للمنهاج الأكسيومي وإمكانات تطبيقه في المجالات المختلفة للمعرفة البشرية:

١ ـ ليس هناك من شك في أن المنهاج الأكسيومي أداة للتجريد والتحليل بالغة الأهمية. أداة تفتح أمام الفكر باب التجريد بأوسع ما يمكن، وتطرح أمامه باستمرار آفاق جديدة وامكانات جديدة في المضي قُدُماً في العالم المجرد. إن الانتقال من نظرية مرتبطة بالمشخص إلى نفس النظرية وقد صيغت صياغة اكسيومية، ثم صياغة محض رمزية، خطوة هامة جداً في إغناء الفكر البشري وإكسابه قدرة لا تحد على معالجة أكثر القضايا تجريداً وتعميماً. . . إنها خطوات لا يساويها في الأهمية سوى تلك الخطوات التي نخطوها عندما ننتقل من العدد المشخص (كومة من الأقلام أو من الحصى مثلاً) إلى العدد الحسابي (١، ٢، ٣. . .) ومن الحساب إلى الجبر، ثم من الجبر الابتدائي ـ الكلاسيكي إلى الجبر الحديث. (في الجبر الابتدائي تكون الأشياء وحدها غير محددة، أما في الجبر الحديث فإن الأشياء والعلاقات التي تقوم بينها تبقى غير محددة تحديداً تاماً، وإنما يكتفى فقط ببعض الخصائص الأساسية المجردة تجريداً كبيراً).

٢ ـ إن هذا الانتقال من مستوى أدنى إلى مستوى أعلى، على صعيد التجريد يفتح أمام الفكر آفاقاً جديدة خصبة، ويساعده على تنظيم المعلومات والمعارف التي اكتسبها تنظيماً محكماً، وإرجاعها في النهاية إلى مجموعة قليلة من المبادىء والطرز المضبوطة بدقة. إن السير أشواطاً في ميدان التجريد يرافقه دوماً تقدم مماثل في مجال التعميم. وكما قال ب. راسل فإن أهمية التعميم إنما تكمن بحق في تحويل الثوابت إلى متغيرات، الشيء الذي يمكّن الفكر من معالجة أكثر القضايا تعقيداً وغموضاً بمرونة ووضوح. . . إن هذا فعلاً ـ تحويل الثوابت إلى متغيرات ـ هو ما يفعله العالم الرياضي الذي يستعمل المنهاج الأكسيومي، عندما يضع مكان كلمة «المستقيم» الرمز «س» ومكان كلمة «المطابقة» الرمز «ص». إن الكلمتين مستقيم ومطابقة، تدلان على معنيين ثابتين، أما عندما تضع مكانها «س» و «ص»، فإننا نحولهما إلى متغيرين يخضعان فقط للعلاقات التي تقيمها بينها الأوليات التي انطلقنا منها أول الأمر، وبالتالي يصبح في الإمكان اعطاؤهما قيماً معينة أخرى عندما نريد النزول من ميدان الأكسيوماتيك إلى ميدان تطبيقاته.

٣ ـ وهكذا فإن صياغة نظرية ما، صياغة أكسيومية، تغض الطرف فيها نهائياً عن الدلالات المشخصة والحدوس الحسية، تجعلنا قادرين، ليس فقط على التفكير في نفس النظرية بشكل أكثر صفاء ودقة، بل قادرين أيضاً على أن نصنع لأنفسنا بنفس العملية أداة

ذهنية متعددة الصورة قابلة للتطبيق على النظريات التي تشكل مع الأولى طرزاً متقابلة. إن النظرية المصاغة صياغة أكسيومية تصبح حينئذ بمثابة دالة نظرية، أو عبارة عن قالب للنظريات المشخصة. إن الأكسيوماتيك من هذه الناحية أداة ثمينة تمكننا من الاقتصاد في المجهود الفكري، وذلك بجمع عدة نظريات في نظرية واحدة، وبالتالي التفكير في المتعدد من خلال الواحد.

٤ ـ أضف إلى ذلك أن المنهاج الأكسيومي يساعدنا مساعدة كبيرة على تنظيم معارفنا وسبك مختلف العلوم في قوالب جديدة أكثر وضوحاً ودقة. إنه منهج يساعدنا على اكتشاف التناظر بين النظريات المتفرقة التي يضمها علم واحد، أو تتوزعها مجموعة من العلوم، مما يمكننا من السيطرة فكرياً على النظريات التي تبدو ظاهرياً متنافرة، وذلك باستخلاص البنية المتغيرة المشتركة بينها. إن استخلاص هذه البنية سيمكّننا، ولا شك، من أن نطل، بواسطة عملية تركيبية، على مشاهد عقلية واسعة غنية لم نكن نتبينها قبل إلا كأجزاء متنافرة خافتة، الشيء الذي يفتح أمام الباحث باب الاكتشاف والاختراع واسعاً خصباً، بعد أن انطلق من مبادىء وقضايا محددة بدقة، وسار عبر طريق معبّد صلب، واعياً كل الوعي بجميع الخطوات التي يقطعها، والاضافات التي يضيفها ليتخذ منها مرتكزات جديدة، تساعده على السير قُدُماً إلى الأمام.

٥ ـ ليس هذا وحسب، بل إن الطابع الآلي للخطوات الأكسيومية، الصورية الرمزية، يسمح بالاستعانة بالآلات الدقيقة، والاحتفاظ بالمجهود الفكري البشري لعمليات أرقى أو أعلى. وهكذا بفضل الصياغة الصورية الرمزية للنظريات، وبفضل الطريقة الأكسيومية، التي تمكننا من اكتشاف الطرز المتقابلة في هذه النظريات، أصبح بإمكان «العقول الالكترونية» أن تقوم بالنيابة عن الإنسان بإجراء العمليات المعقدة التي كانت تستغرق وقتاً طويلاً وتستنزف مجهوداً عظيماً، وطاقة فكرية هائلة.

تلك كانت بصورة إجمالية، فوائد المنهاج الأكسيومي، على صعيد التفكير، صعيد التحليل والتجريد والتنظيم. أما قيمته الايبستيمولوجية بالنسبة إلى مختلف العلوم فيكفي لتبينها أن نشير إلى الجوانب التالية:

ـ في ميدان الرياضيات: يمكن القول الآن إن وجه الرياضيات قد تغيّر رأساً على عقب، بعد أن صيغت مختلف فروعها صياغة أكسيومية. وهكذا، فبدلاً من التصنيف التقليدي للرياضيات، حسب موضوعها، إلى حساب وجبر وحساب تفاضل وهندسة، نجد أنفسنا اليوم أمام تصنيف جديد أكثر وضوحاً ودقة، تصنيف يقوم على أساس العلاقات والبنيات التي تشكل من هذه العلاقات. لقد كان التصنيف القديم للرياضيات أشبه التصنيف القديم (الأرسطي) للحيوانات، إلى حيوانات مائية وأخرى بحرية وثالثة جوية. أما التصنيف الجديد للرياضيات فهو أشبه ما يكون بالتصنيف العلمي لمملكة الحيوان، والمرتكز على تماثل بنياتها، لا على شكلها أو مجالها الحيوي... إن تغيير سحنة العلوم

الرياضية بهذا الشكل كان أحد العوامل الرئيسية التي ساعد على التغلب على أزمة الأسس التي زعزعت أركان العلم الرياضي في أوائل هذا القرن[١٦].

ـ أما في ميدان العلوم الطبيعية، فإن أقل ما يمكن قوله هو إن المنهاج الأكسيومي يسير سيراً حثيثاً لغزو العلوم الفيزيائية، خاصة منها فيزياء الأشياء الصغيرة جداً (الميكروفيزياء) وفيزياء الأشياء الكبيرة جداً (ميدان الفضاء). وإذا كان هذا المنهاج لم يجد بعد سبيله إلى العلوم الطبيعية الأخرى كالبيولوجيا، مثلاً، فما ذلك، إلا لأن هذه العلوم ما زالت تزحف على الدرجات الدنيا من سلّم التجريد. وبكيفية عامة يمكن القول ـ مع بلانشي ـ إن تاريخ العلوم يكشف لنا عن مراحل أربع تقطعها العلوم في تقدمها: من المرحلة الوصفية، إلى المرحلة الاستقرائية، إلى المرحلة الاستنتاجية، وأخيراً المرحلة الأكسيوماتية. وهكذا فالفيزياء التي كانت وصفية (تعنى بالكيفيات) عند اليونان وفي القرون الوسطى، والتي أصبحت استقرائية (كمية) ابتداء من القرن السابع عشر، ثم استنتاجية في القرن التاسع عشر، قد بلغت الآن مع القرن العشرين مرحلة عالية من التطور، مما مكّن من صياغة كثير من قضاياها صياغة أكسيومية. لقد أصبحت الفيزياء اليوم كما يقول Destouches[١٧] غير قابلة للقياس التزامني، أي تحديد الموقع والسرعة في آن واحد، إنها اليوم فيزياء علاقات، فيزياء بنيوية تتوقف فيها الحدود على العلاقات، على خصائص النظام الأكسيومي التي شرحناها سابقاً[١٨].

---

(١٦) انظر قسم النصوص، حيث أخرجنا نصوصاً في موضوع الأكسيوماتيك وحدوده.

(١٧) ذكره بلانشي في: Blanché, *L'Axiomatique*.
وسيتضح ما يعنيه ديتوش هنا، عندما نستعرض في الجزء الثاني من هذا الكتاب أهم التطورات التي عرفتها الفيزياء الحديثة.

(١٨) انظر قسم النصوص حيث تجد نصوصاً مهمة حول الأكسيوماتيك، والصياغة الأكسيومية للرياضيات الحديثة خاصة نص بورباكي.

الفصل الثالث

نظرية المجموعات وأزمة الأسس

أولاً: انهيار فكرة الاتصال في التحليل

تحدثنا في فصل سابق عن الهندسة التحليلية التي أنشأها ديكارت، وكنا قد لاحظنا أنه إذا كان ديكارت قد حوّل الهندسة إلى جبر فإنه قد استبقى، مع ذلك، شكلاً هندسياً معيناً هو المستقيم الذي تحدد به الأشكال الهندسية بواسطة الإحداثيات في الدوال مما جعل «التحليل» يبقى مرتبطاً بأصل هندسي، ونقصد بذلك فكرة الاتصال. وهكذا فدراسة الأشكال الهندسية بواسطة الدوال ترتكز في الحقيقة على الفرضية التالية، وهي أن قيم الدالة **تتابع بدون تقطع أو انفصال كما تتابع نقط المستقيم تتابعاً مطرداً لا فجوة فيه. ومن هذه الفرضية تستمد الدالة تعريفها. فلقد عرفها ليبنز بأنها: المنحنى الهندسي الذي يعبر عن علاقة متصلة متتابعة بين كميتين متغيرتين.** نحن نعرف مثلاً أن الحديد يتمدد بالحرارة، وأنه كلما ارتفعت الحرارة زاد الحديد تمدداً[1]... وبإمكاننا أن نرسم رسماً بيانياً نوضح فيه العلاقة بين تغيُّر الحرارة وتغير تمدد الحديد، فنحصل على خط متصل تشكله القيم المتتابعة لدرجة الحرارة. وهذا الخط الذي ترسمه الدالة والذي تشكله القيم المتتابعة هو أساس حدس الاتصال، أي حدس المكان. وهذا ما يسمى أيضاً بالحدس الهندسي.

ظل هذا الحدس الهندسي حتى منتصف القرن الماضي مقبولاً، يفرض نفسه. وظلت الدوال قائمة على أساس فكرة الاتصال هذه وكأن ذلك خاصية ملازمة لها ضرورة. ولكن تقدم الانشاءات الرياضية، وتقدم التحليل نفسه، أدى إلى اكتشافات غريبة لا تتقيد بهذا الأساس. فلقد اكتشف الرياضي الفرنسي كوشي Cauchy (١٨٢٠) (دالة منفصلة) وأدخل الأعداد التخيلية في الدوال. واكتشف العالم الألماني ويرستراس Weierstrass (١٨٤٠) دالة

---

(١) وذلك ضمن حدين معينين: حد أدنى وحد أقصى.

متصلة، ولكنها لا تقبل التفاضل، وكان الاتصال والتفاضل متلازمان إلى ذلك الحين. وتمكّن ريمان Reimann (١٨٥٠) من إنشاء دالة منفصلة تقبل التكامل، مع أن التكامل كان ملازماً للاتصال فعمم بذلك نظرية كوشي... وهكذا وجد الرياضيون أنفسهم أمام اكتشافات غريبة تبعث على القلق ولكنها تفتح في الوقت ذاته آفاقاً واسعة أمام التحليل. إن إدخال الأعداد التخيلية والمركبة في ميدان التحليل قد حلّ كثيراً من المشاكل، فاغتنى هذا الأخير وتجدد، وأصبحت الأعداد التخيلية «موضة» رائجة حتى قال برانشفيك: أصبح القرن التاسع عشر قرن الأعداد التخيلية.

على أن الأمر لا يقتصر على إدخال نوع جديد من الأعداد ـ وكان التحليل قد اقتصر إلى ذلك الوقت على الأعداد الطبيعية والأعداد الصماء ـ بل لقد غدا في الامكان، بفضل هذه الكائنات الرياضية الجديدة ـ الأعداد التخيلية والمركبة ـ **التخلي عن فكرة الاتصال الهندسي، وإحلال العدد الصحيح مكانها. وبالتالي بناء التحليل كله على فكرة العدد.** كتب الرياضي الفرنسي جول تانيري Jules Tannery عام ١٨٨٦، يقول: «يمكن بناء التحليل كله على أساس مفهوم العدد الصحيح الموجب وعمليات الجمع التي تجري عليه. وليس هناك من داع إلى البحث عن مسلمة أخرى تستمد من الواقع التجريبي (يشير بذلك إلى الحدس الهندسي). إن مشكلة اللاانتهاهي لم تعد الآن سرّاً، إنها ترد إلى ما يلي: كل عدد صحيح يتبعه عدد صحيح آخر».

من هنا انصرف الرياضيون إلى دراسة أنواع الأعداد ومحاولة ردها إلى العدد الصحيح الموجب. وكان طبيعياً أن يهتموا بمفهوم العدد نفسه، أي بمشكلة الأساس الذي يراد أن تؤسس عليه الرياضيات كلها[٢]... لقد كانت الرياضيات مؤسسة من قبل على أساسين اثنين: مفهوم العدد (الانفصال) ومفهوم الخط (الاتصال)، ولذلك كان يقال إن موضوع الرياضيات هو: الكم المتصل والكم المنفصل. وعندما تحوّل الخط إلى أعداد، بتقدم التحليل، أصبح العدد هو الأساس الوحيد لكل فروع الرياضيات.

وكما يحدث دائماً، فإن انصراف الجهود إلى ميدان واحد يؤدي دوماً إلى توسيع هذا الميدان، وأحياناً إلى الكشف عن صعوبات جديدة. وهذا ما حدث بالفعل. فقد أدّى الاهتمام بالأعداد إلى توسيع ميدان العدد نفسه، ومن ثمة الاصطدام بصعوبات بالغة. وهنا يبرز اسم العالم الألماني الشهير جورج كانتور George Cantor (١٨٤٥ ـ ١٩١٨) الذي قام بدراسات هامة جديدة على الأعداد اللامتناهية والأعداد المتجاوزة للأعداد اللامتناهية Nombres transfinis (سنشرح معناها في الفقرة التالية) كما أرسى دعائم **نظرية المجموعات** Théorie des ensembles التي ستصبح لها المكانة الأولى في الرياضيات الحديثة.

---

(٢) لن ندخل هنا في تعريف العدد والنظريات التي شيّدت في هذا الصدد وبإمكان القارىء أن يرجع إلى الكتب المختصة، وفي مقدمتها: برتراند راسل، أصول الرياضيات، ترجمة محمد مرسي أحمد وأحمد فؤاد الأهواني، مكتبة الدراسات الفلسفية، ٣ ج، ط ٢ (القاهرة: جامعة الدول العربية؛ دار المعارف، ١٩٥٨). وسنعطي ملخصاً لآراء راسل حول أسس الرياضيات في فقرة قادمة.

لقد دخلت فكرة **المجموعة** Ensemble ميدان التحليل عندما لوحظ أن بعض الدوال تقبل التحديد مهما كانت قيم المتغير، وأن بعضها الآخر لا يقبل التحديد إلاّ عندما يكون المتغير عدداً صحيحاً. هنا ظهرت فكرة معالجة مجموع القيم التي يمكن أن تعطى للمتغير، وبالتالي فكرة النظر إلى قيم الدالة كـ **مجموعة**. فكان من نتيجة ذلك أن بدا واضحاً أنه من المفيد لمتابعة دراسة الدوال، الانصراف إلى دراسة المجموعات، فاتسعت هذه الدراسة وتطورت حتى أصبحت الرياضيات كلها ترتد إلى نظرية المجموعات. (كان من المتحمسين لهذا الاتجاه الجديد، اتجاه تأسيس الرياضيات كلها على نظرية المجموعات فريق من الرياضيين الفرنسيين الشبان الذين ينشرون أبحاثهم تحت اسم مستعار هو Nicolas Bourbaki، وذلك منذ عام ١٩٣٩).

فما هي نظرية المجموعات هذه، وما هي الصعوبات التي أثارتها والتي تسبّبت في ما أطلق عليه في بداية هذا القرن: «أزمة الأسس»؟

ثانياً: نظرية المجموعات ونقائضها

نظرية المجموعات نظرية رياضية تعنى خاصة بالتأليف Combinaison بين الأعداد وهي تنطلق من ثلاثة حدود أولية ـ لا معرّفة ـ هي: **المجموعة، العنصر، ينتمي**. وكما أوضحنا ذلك قبل عند الحديث عن الصياغة الأكسيومية، فإن معنى الحدود الأولية لا يهم، إذ المهم هو العلاقات القائمة بين هذه الحدود. وهكذا فإذا نظرنا إلى هذه الحدود الأولية الثلاثة التي تتأسس عليها نظرية المجموعات، نجدها غير ذات معنى في الرياضيات إذا أخذت منفردة: ولكن القضية التي تركب بواسطتها لها معنى واضح. مثال ذلك: «**العنصر ب ينتمي إلى المجموعة أ**» أو: «**العنصر ج لا ينتمي إلى المجموعة د**».

واضح إذن أن المجموعة تتألف من عناصر. ولكن لا بد أن يكون كل عنصر من عناصر المجموعة محدداً بوضوح، متميزاً عن العناصر الأخرى، ولا بد أن يكون انتماء هذا العنصر إلى المجموعة انتماءً واضحاً للجميع.

وإذن، فالمجموعة مفهوم أولي يدل على حشد من الأشياء المتناهية أو اللامتناهية العدد، مهما كانت طبيعة هذه الأشياء: كومة من الحصى، صندوق من الطباشير أو الوقيد، عنقود عنب، سلّة ليمون، قطيع من الماشية أو سرب من الطيور... فرقة رياضية، تلامذة قسم أو مدرسة، الأعداد الطبيعية أو غير الطبيعية... الخ. **والذي يميز المجموعة عن الحشد هو وجود رابطة تجمع بين أعضائها**، أي العناصر المكوّنة لها. فالمجموعة بهذا الاعتبار هي جملة من العناصر تربطها رابطة ما، رابطة هي عبارة عن خاصية ما مشتركة بين العناصر. إنها الخاصية التي تميّز، مثلاً، قضيباً من الطباشير عن حبة الحصى، وتميّز حبة الحصى عن حبة العنب... الخ. وهكذا فإذا كانت الفرقة الرياضية، أو طلبة قسم من أقسام الكلية، يشكل كل منها **مجموعة** لوجود رابطة تميز أعضاء الفرقة الرياضية ورابطة أخرى تميز طلبة الكلية،

فإن «الشبان» ـ هكذا على الاطلاق ـ لا يشكّلون مجموعة، في الاصطلاح الرياضي الذي نحن بصدده، لأن مفهوم الشباب مفهوم غير محدد، إذ لا يمكن التمييز بسهولة بين الشباب وغير الشباب، في حين أننا نميز بوضوح بين الطالب وغير الطالب من الشبان:

أما عدد عناصر المجموعة فشيء لا يهم بالنسبة إلى وجودها. فقد تكون المجموعة مشتملة على عدد لا نهاية له من العناصر، كما هو الشأن مثلاً في المجموعة التي عناصرها الأعداد الطبيعية. . . وقد تكون المجموعة مشتملة على عنصرين، أو على عنصر واحد فقط. وقد تكون فارغة لا تشتمل على أي عنصر.

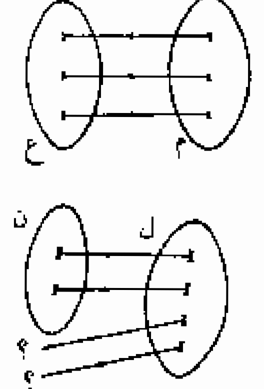
ومن الممكن كذلك توزيع عناصر مجموعة ما إلى أجزاء في كل جزء منها عنصر أو عنصرين أو عدة عناصر، ويسمى: **جزء المجموعة** Partie أو **مجموعة جزئية** Sous-ensemble (هذا الاصطلاح الأخير هو المستعمل بكثرة). وهكذا فخزانة الكتب مجموعة. غير أنه يمكن تصنيف هذه الكتب إلى مجموعات جزئية حسب الحجم أو المادة أو غير ذلك من الاعتبارات. فإذا كانت هذه المجموعة تشتمل على كتب النحو والأدب والتاريخ ولا تشتمل على كتب الرياضيات مثلاً، أمكننا تجزئة هذه المجموعة إلى أربع مجموعات جزئية هي: مجموعة جزئية تشتمل على كتب النحو، ومجموعة جزئية تشتمل على كتب الأدب، ومجموعة جزئية تشتمل على كتب التاريخ، ومجموعة جزئية فارغة هي الخاصة بكتب الرياضيات غير الموجودة. فكأن مجموعة الكتب كانت تشتمل على كتب الرياضيات، ثم سحبنا منها هذه الأخيرة ـ الرياضيات ـ وبقي مكانها فارغاً. ونقول عن المجموعة الجزئية (ب) إنها ضمن Inclus dans المجموعة (أ)، في حين نقول عن العنصر (ج) أنه ينتمي Appartient إلى المجموعة «د». فالانتماء خاص بالعناصر، والضمنية خاصة بالمجموعات الجزئية. وهذا مجرد اصطلاح ويمثل لذلك بالرسم كما يلي:

فالمجموعة الجزئية (ع) هي ضمن المجموعة (م) أما العناصر المرموز إليها بـ (x) فهي تنتمي إلى المجموعة (م) أو المجموعة (ع).

من المسائل التي قد تهمّنا كثيراً، معرفة عدد عناصر المجموعة، أو المقارنة بين مجموعتين من حيث عدد العناصر التي تشتمل عليها كل منها. والطريقة التي ألفناها هي اللجوء إلى عدد عناصر كل مجموعة على حدة، ثم المقارنة بين المجموعتين اللذين حصلنا عليهما بعملية العد. ولكن هذه الطريقة، طريقة العد، لا تتيسر دوماً، فقد لا نكون نعرف كيف نعد ـ كما هو الشأن بالنسبة إلى بعض الجماعات البدائية ـ أو قد يكون عدد العناصر كبيراً جداً، أو قد تكون العناصر لانهائية العدد. فلا بد، إذن، من طريقة أخرى للمقارنة. والطريقة المستعملة هنا، هي الطريقة «البدائية»، **طريقة التناظر** Correspondance أو Bijection أي الطريقة المبنية على «علاقة واحد بواحد». قد ندخل مثلاً إلى مقهى ونلاحظ أن حول كل طاولة شاب وشابة، فنستنتج مباشرة أن عدد الشبان يساوي عدد الشابات. إن طريقة التناظر هذه سهلة ويمكن تطبيقها مهما كان عدد عناصر المجموعات التي نريد المقارنة

بينهما: إذ يكفي أن نربط (أي نقيم علاقة) بين عنصر في مجموعة وعنصر آخر في مجموعة أخرى. حتى إذا استنفدنا جميع عناصر إحدى المجموعتين تبين لنا هل هما متساويتان، أو أن إحداهما أكبر من الأخرى، ذلك دون اللجوء إلى عملية العد.

وهكذا فالمجموعتان م، ع «متشابهتان» كما في الرسم: أما المجموعتان ل، ن فهما غير متشابهتين[3].



تلك بعض المفاهيم الأولية الخاصة بنظرية المجموعات، وهي تكفينا لفهم ما يهمنا هنا[4]، نقصد بذلك تناقض هذه النظرية.

لنبدأ أولاً بالمجموعات المتجاوزة اللانهائية، ولنشر قبل ذلك إلى المشكلة التي تطرحها المجموعات اللامتناهية (أي التي تتكوّن من عناصر لا نهاية لعددها)، كمجموعة الأعداد الطبيعية (١، ٢، ٣، ٤، ...)، ومجموعة الأعداد النسبية، (أي الأعداد الموجبة والسالبة)، ولنقارن بينهما بالتناظر: هكذا:

0 . 1 . 2 . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 ...

0 . 1 . 1− . 2 . 2− . 3 . 3− . 4 ...

من الواضح، إذن أنه يمكن أن نسير في إقامة «علاقة واحد بواحد» إلى ما لانهاية له، الشيء الذي يعني أن هناك من الأعداد الطبيعية بقدر ما هناك من الأعداد النسبية، على الرغم من أن هذه ضعف تلك. (الأعداد النسبية تكون موجبة تارة وسلبية تارة أخرى. أما الأعداد الطبيعية فلا علامة لها).

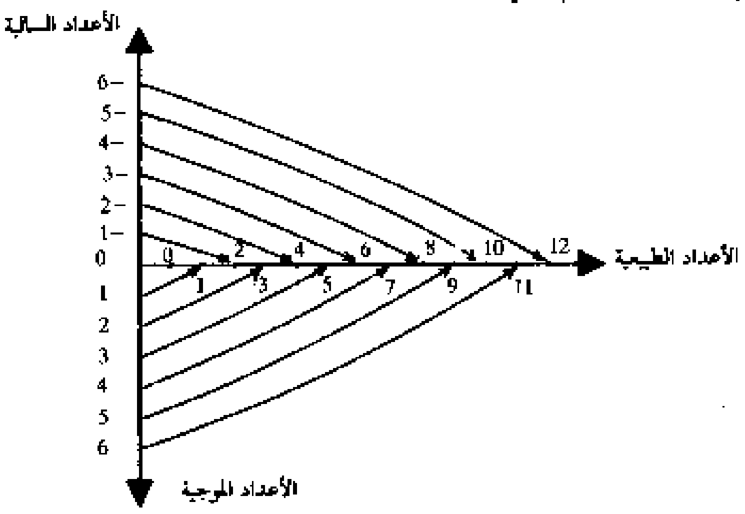
---

(٣) في الاصطلاح الخاص بنظرية المجموعة لا يقال عن مجموعتين أنهما متساويان إلاّ إذا كان كل عنصر في المجموعة الأولى عنصراً في المجموعة الثانية. فالمساواة هنا Egalité تعني الهوية. أما المجموعتان اللتان تشتملان على نفس العدد من العناصر فيقال ان لها نفس القوة أو هما متشابهان Equipotents.

(٤) لمزيد من التفاصيل حول المفاهيم الأولية لنظرية المجموعات يمكن الرجوع إلى:

Paul Richard Halmos, *Introduction à la théorie des ensembles*, traduction de J. Gardelle, mathématiques et sciences de l'homme; 3 (Paris: Gauthier-Villars, 1967).

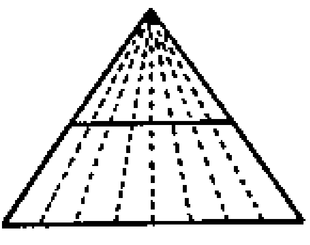
ويمكن بيان ذلك بالرسم التالي:



وإذن، فمجموعة الأعداد الصحيحة الطبيعية وهي لانهائية تناظر مجموعة الأعداد الموجبة والسالبة معاً، وهي لانهائية العدد أيضاً. وبما أن هذه ضعف تلك فإن ذلك يعني أننا أمام نوعين من اللانهاية.

وبالمثل يمكن إقامة التناظر بين مجموعة الأعداد الفردية، والأعداد الطبيعية (فردية وزوجية معاً)، بين الأعداد الكسرية والأعداد الصحيحة، بين الأعداد الحقيقية كلها (مختلف أنواع الأعداد ما عدا التخيلية) والأعداد الطبيعية وهي جزء منها... والنتيجة واحدة، وهي أن هناك أنواعاً من اللانهايات. وبما أن بعض هذه المجموعات جزء من مجموعة أخرى (الأعداد الفردية مثلاً جزء من الأعداد الطبيعية) فيمكن القول تبعاً لذلك إن الجزء هنا يساوي الكل. ويمكن أن نتبين ذلك هندسياً كما يلي:

لنرسم مثلثاً، كما في الشكل، ولنرسم في وسطه جزء من المستقيم يربط ضلعيه، فبإمكاننا أن نمرر من قمته خطوطاً تربط كل نقطة من جزء المستقيم المرسوم في الوسط بنقطة من جزء المستقيم الذي يشكل قاعدة المثلث. وبما أن جزء المستقيم المرسوم في الوسط هو دوماً أصغر من قاعدة المثلث، وبما أنه يمكن دوماً ربط كل نقطة من ذاك، بنقطة من ذا، فإن النتيجة هي أن عدد نقاط جزء المستقيم الصغير يساوي عدد نقاط جزء المستقيم الكبير... أي: الجزء يساوي الكل.



إلى جانب تنوع اللانهايات كما أوضحنا، هناك ما أطلقنا عليه اسم الأعداد المتجاوزة للانهاية N. transfinis. من المعروف في الاصطلاح الرياضي أن الأعداد الجبرية هي التي تكون حلاً لمعادلة جبرية مثل الأعداد الطبيعية والكسور العادية والأعداد النسبية. وكذلك بعض الأعداد الصماء، فالعدد $\sqrt{2}$ هو الحل بمعادلة س^2 − 2 = 0. وقد اكتشف الرياضي جوزيف لويفيل Joseph Louiville عام ١٨٤٤ أن هناك أعداداً لا تصلح لأن تكون حلاً لأية معادلة جبرية. وسميت بـ الأعداد المتعالية N. transcendents مثل العدد (النسبة التقريبية).

وقد بيّن جورج كانتور G. Cantor أنه عندما نعدّ مجموع الأعداد الجبرية (بربطها بالأعداد الطبيعية بطريقة التناظر) لا يبقى من الأعداد الطبيعية ما نعد به الأعداد المتعالية. وبما أن الأعداد الطبيعية لانهائية فإن الأعداد المتعالية تتجاوز لانهائية الأعداد الطبيعية هذه. لقد جرت العادة على اطلاق اسم الأعداد الحقيقية N. réals على مجموع الأعداد الجبرية والأعداد المتعالية. والأعداد الجبرية بالقياس إلى الأعداد المتعالية كالنجوم بالقياس إلى الأجزاء الشاسعة المظلمة في السماء. وهكذا فاللانهاية المعروفة، أي سلسلة الأعداد الطبيعية، ليست، بالمقارنة، سوى «لانهاية صغيرة». أما مجموعة الأعداد الحقيقية فهي أبعد من هذه «اللانهاية» ولذلك تسمى بالأعداد المتجاوزة للانهاية. وإذن فهناك لانهاية «صغرى» ولانهاية «كبرى» إذا صح التعبير!

وما دمنا نتحدث عن الأعداد واللانهايات، فلنشر إلى تلك النقيضة التي كشف عنها الرياضي الايطالي بورالي فورتي Burali-Furti عام ١٨٩٥ وتتعلق بإحدى قواعد نظرية المجموعات:

يميز كانتور بين الأعداد العادة (أي التي نعد بها: 4 ,2 ,3) والأعداد الترتيبية (نفس الأعداد مرتبة ترتيباً تصاعدياً، أول، ثان، ثالث...). فإذا كانت لدينا مجموعة من الطلبة أمكننا عدها بادئين بهذا أو ذاك، فالمهم هو معرفة عدد هؤلاء الطلبة، وليكن 30. أما إذا أجرينا اختباراً ما على هؤلاء الطلبة فإننا ندرج أسماءهم في اللائحة حسب الاستحقاق: الأول، الثاني... إلى الثلاثين. وإذن هناك نوعان من الأعداد: أعداد عادة N. cardinaux وأعداد ترتيبية N. ordinaux الأولى تدلّ على الكم، والثانية على المرتبة.

لنفرض الآن أن لدينا مجموعات من صناديق الوقيد، مثلاً، موزعة كما يلي:

- صندوق فارغ.
- صندوق فيه عودان اثنان.
- صندوق فيه ثلاثة.

وآخر فيه أربعة... وهكذا إلى ذلك الصندوق الذي يضم ما لانهائية لعدده من العيدان. ولتكن هذه العيدان داخل الصناديق مرتبة ترتيباً تصاعدياً (الأول، الثاني...) إن هذا يعني أن الصندوق الأخير الذي يشتمل على ما لانهاية له من العيدان سيستغرق جميع الأعداد الترتيبية وهي لانهائية.

لنرتب الآن هذه الصناديق ترتيباً تصاعدياً: إن الصندوق الفارغ يشكل الفئة الأولى ونضع أمامه الرقم الترتيبي 1 والصندوق الذي فيه عود واحد يشكل الفئة الثانية ونضع أمامه الرقم الترتيبي 2. . . وهكذا نضع على الفئة الثالثة التي تضم عودان الرقم الترتيبي 3. . . الخ. وواضح من هذا أن الرقم الترتيبي الذي نرتب به كل فئة هو الرقم الذي يلي أعلى الأرقام الترتيبية الموجودة في الفئة. فالفئة التي عدد عيدانها عشرة، والتي يشكل الرقم الترتيبي 10 أعلى رقم فيها، يكون عددها الترتيبي هو التالي لعشرة أي 11. وقياساً على ذلك يكون الرقم الترتيبي الذي ترتب به المجموعة الأخيرة (أي الصندوق الأخير) التي تشتمل على جميع الأعداد الترتيبية وهي لانهائية، أعلى من أكبر رقم فيها. وإذن فلا بد من وجود رقم ترتيبي أعلى من جميع الأرقام الترتيبية . . .

وهذا تناقض. وبعبارة أعم، يمكن تلخيص ما سبق كما يلي: «إن المجموعة المكوّنة من أعداد ترتيبية، والتي لا يمكن أن تشتمل على عدد ترتيبي ما، دون أن تشتمل في الوقت نفسه على جميع الأعداد الترتيبية التي هي أصغر منه، يمكن أن ترتّب ترتيباً تصاعدياً، ويقال لها حينئذ إنها مجموعة جيدة الترتيب[5]. والعدد الترتيبي الذي ترتّب به هذه المجموعة هو العدد الترتيبي الذي يلي آخر الأعداد الترتيبية المرتبة داخل تلك المجموعة».

وإذا طبّقنا الآن هذه القاعدة على المجموعة المكوّنة من جميع الأعداد الترتيبية كان العدد الترتيبي الذي يبين مرتبة هذه الأعداد، أكبر مرتبة من جميع الأعداد الترتيبية وهي لانهائية. وإذن فسنكون أمام عدد ترتيبي أعلى من جميع الأعداد الترتيبية، أي أعلى من اللانهاية! وهذا تناقض.

وهناك نقيضة أخرى شبيهة بهذه اكتشفها كانتور نفسه عام ١٨٩٩، ولكنه لم يعلن عنها إلّا سنة ١٩٣٢، وملخصها كما يلي: تنص نظرية المجموعات - كما أشرنا إلى ذلك سابقاً - على امكانية توزيع عناصر مجموعة ما إلى مجموعات جزئية تكون أكثر عدداً من عناصر تلك المجموعة: لنفرض أن لدينا مجموعة تتكون من ثلاثة عناصر هي أ، ب، ج نريد توزيعها إلى مجموعات جزئية: هناك أولاً المجموعات الفرعية التالية: مجموعة (أ)، ومجموعة (ب) ومجموعة (ج) (وقد سبقت الإشارة إلى أن العنصر الواحد يمكن أن ينظر إليه كمجموعة)، وهناك ثانياً المجموعات الجزئية التالية: مجموعة (أ، ب) ومجموعة (أ، ج) ومجموعة (ب، ج). ثم هناك ثالثاً المجموعة (أ، ب، ج). وأخيراً هناك المجموعة الفارغة (Φ). وإذن هناك ثماني مجموعات جزئية للمجموعة الأصلية المكوّنة من العناصر أ، ب، ج. . . وإذن، فـ المجموعات الجزئية لمجموعة ما تكون دوماً أكثر عدداً من عناصر تلك المجموعة.

لننظر الآن إلى جميع المجموعات التي يمكن أن توجد. إنها تشترك - على الأقل - في

---

(٥) يقال لمجموعة انها جيدة الترتيب (Ensemble bien ordonné) إذا كانت طريقة ترتيبها كالطريقة التي رتّبنا بها صناديق الوقيد، بحيث ينطلق الترتيب داخل الصندوق من عدد معين هو ١ في الصناديق المشار إليها.

خاصية واحدة هي كونها، جميعاً، مجموعات، واشتراكها في هذه الخاصية يسمح لنا باعتبارها عناصر لمجموعة تضمها جميعاً، هي مجموعة جميع المجموعات.

إن «مجموعة جميع المجموعات» هذه، يمكن توزيعها حسب القاعدة السابقة إلى مجموعات جزئية تكون أكثر عدداً من عناصر هذه المجموعة. وبما أن عناصر هذه المجموعة هي جميع المجموعات، فإن النتيجة هي أن المجموعات الفرعية لمجموعة جميع المجموعات هي أكثر عدداً من جميع المجموعات. وهذا معناه أن بعض المجموعات أكثر عدداً من جميع المجموعات، وبعبارة أخرى الجزء أكبر من الكل. وهذا تناقض:

لننظر الآن إلى أخطر نقائض نظرية المجموعات وتتعلق أيضاً بمجموعة جميع المجموعات.

قلنا قبل قليل إن ما يسمح بالقول بوجود مجموعة لجميع المجموعات، هو اشتراك المجموعات كلها في خاصية واحدة هي كونها مجموعات. ولكن «مجموعة جميع المجموعات» هي أيضاً مجموعة، أي تشترك في نفس الخاصية، وإذن فيجب أن تشتمل على نفسها (أو تنتمي إلى نفسها).

وهكذا نجد أنفسنا أمام صنفين من المجموعات:

١ ـ المجموعات التي لا تشتمل على نفسها، وهي التي كنا نتحدث عنها قبل. فصندوق الوقيد مجموعة لا تشتمل على نفسها لأن الخاصية التي تجمع بين عيدان الوقيد والتي تجعل منها مجموعة لا تتوفر في الصندوق ذاته. فالصندوق ليس عوداً كبريتياً. وكذلك الشأن في عنقود العنب لأنه ـ أي العنقود ـ ليس حبة عنب. وهكذا.

٢ ـ المجموعات التي تشتمل على نفسها، وهي التي تحدّثنا عنها في الفقرة قبل الأخيرة. فإذا فتحت فهرس كتاب ـ وهو مجموعة من العناوين ـ وجدت لائحة لعناوين الكتاب. وأحياناً تجد في آخر اللائحة «الفهرس» ذاته. (أي اشارة إلى الصفحة التي يوجد فيها الفهرس)، ففي هذه الحالة يكون الفهرس مجموعة تشتمل على نفسها.

إن هذا التصنيف ينطبق أيضاً على «مجموعات جميع المجموعات». فهناك «مجموعات لجميع المجموعات» لا تشتمل على نفسها كفهرس الفهارس الذي لا يشتمل على نفسه، وهناك «مجموعات لجميع المجموعات» تشتمل على نفسها كفهرس الفهارس الذي يشتمل على نفسه.

قد يبدو هذا الكلام خالياً من التناقض. ولكن إذا تدبرنا الأمر قليلاً وجدنا أنفسنا أمام تناقض صارخ. ولنوضح ذلك بمثال:

أراد محافظ مكتبة أن يضع فهارس لجميع الكتب والوثائق التي بخزانته. فكلف من أجل ذلك عونين له، أحدهما كلفه بالجناح الأيسر، والآخر بالجناح الأيمن من الخزانة، وطلب منهما أن يضعا على كل رفّ فهرساً بما يشتمل عليه من المطبوعات، ثم على باب كل جناح

فهرساً لجميع الفهارس المعلقة على رفوفه. وبما أن التعليمات التي تلقاها العونان لم تكن تزيد على ما ذكرنا، فقد عمد أحدهما إلى تسجيل اسم الفهرس على كل فهرس يضعه على الرف، باعتبار أن هذا الفهرس نفسه يشكل وثيقة من وثائق الخزانة، ثم عندما وضع الفهرس العام على باب الجناح الذي كلّف به أدرج فيه اسم هذا الفهرس نفسه، لنفس السبب، فصار فهرساً عاماً يشتمل على نفسه وعلى جميع الفهارس الأخرى التي وضعها العون المذكور وهي تشتمل أيضاً على نفسها.

أما العون الآخر فقد أغفل إدراج الفهارس في الفهارس التي وضعها على الرف، وعندما كان بصدد إعداد الفهرس العام لاحظ أن زميله قد فعل العكس وأدرج أسماء الفهارس في الفهارس ومن جملتها الفهرس العام نفسه. فذهب إلى محافظ المكتبة يستشيره في الأمر، فجاء هذا الأخير ووقف أمام الجناحين فوجد نفسه أمام فهرسين:

ـ فهرس لجميع الفهارس التي تشتمل على نفسها، وهو يشتمل على نفسه. فقال المحافظ هذا شيء معقول.

ـ فهرس لجميع الفهارس التي لا تشتمل على نفسها.

أخذ يفكر في هذا الأخير: هل يشتمل على نفسه أم لا؟ فبقي حائراً لا يدري ما يفعل.

والواقع أن الأمر يتعلق هنا بـ «مجموعة جميع المجموعات التي لا تشتمل على نفسها» وهي موضوع تناقض خطير. وبيان ذلك كما يلي:

١ ـ فإذا اشتملت على نفسها تعذّر عليها أن تكون إحدى المجموعات التي لا تشتمل على نفسها، وبالتالي يجب أن لا تنتمي إلى «مجموعة جميع المجموعات التي لا تشتمل على نفسها»، هذا في حين أنها هي نفسها «مجموعة جميع المجموعات التي لا تشتمل على نفسها».

وهذا تناقض. وإذن يجب أن لا تشتمل على نفسها.

٢ ـ أما إذا لم تشتمل على نفسها فإن هذا يعني أنها إحدى المجموعات التي لا تشتمل على نفسها، وبالتالي يجب أن تنتمي إلى «مجموعة جميع المجموعات التي لا تشتمل على نفسها» وبما أنها هي هذه المجموعة بالذات فيجب أن تنتمي إلى نفسها، أي تشتمل على نفسها.

هكذا نجد أنفسنا في مأزق:

فإذا انطلقنا من فرضية أن «مجموعة جميع المجموعات التي لا تشتمل على نفسها» هي مجموعة تشتمل على نفسها كانت النتيجة هي أنها لا تشتمل على نفسها. وإذا انطلقنا من الفرضية المعاكسة وقلنا إنها «مجموعة» لا تشتمل على نفسها كانت النتيجة أنها تشتمل على نفسها. إنه مأزق خطير، خصوصاً وقد اعتدنا أنه إذا أدّى عكس قضية ما إلى تناقض كان

ذلك دليلاً على صحة القضية الأصلية. أما في هذه الحالة فإن القضية وعكسها يؤديان معاً إلى تناقض[6].

إنها نقيضة من جنس تلك النقيضة المعروفة منذ اليونان والتي تروى كما يلي: فإذا قال شخص: «إنني أكذب» فهو إما أن يكون يكذب حقيقة، وفي هذه الحالة يكون صادقاً في قوله، وبالتالي فهو لا يكذب. وإما أن يكون لا يكذب حينما يقول «إني أكذب»، وفي هذه الحالة يكون كاذباً في قوله، وبالتالي فهو يكذب، وهكذا: فإن كان يكذب فهو لا يكذب. وإن كان لا يكذب فهو يكذب[7].

ثالثاً: «أزمة الأسس» والحلول المقترحة

مثل هذه النقائض وخاصة الأخيرة منها ـ وقد كشف النقاب عنها برتراند راسل عام ١٩٠٣ ـ قد زرعت الفوضى والاضطراب في صفوف الرياضيين في العقد الأول من هذا القرن، خصوصاً والأمر يتعلق بالأساس الجديد الذي اطمأن إليه الرياضيون ليشيدوا عليه صرح علمهم بمختلف فروعه، الأساس الذي قدمته لهم نظرية المجموعات التي تعتبر أجل وأعظم ما توصل إليه الفكر الرياضي الحديث. لقد شهدت بداية هذا القرن نقاشاً صاخباً حاداً حول «مشكلة الأسس» هذه، حتى أصبح الرياضيون غير قادرين على إقناع بعضهم بعضاً، بل عاجزين تماماً عن التفاهم. وهذا ما سجله بوانكاريه حينما قال، وكان طرفاً في النزاع: «إن الناس لا يتفاهمون لأنهم لا يتحدثون نفس اللغة، ولأن هناك لغات لا تتعلم».

لنترك إلى حين ما يقصده بوانكاريه بوجود «لغات لا تتعلم»، ولنسرد بإيجاز المراحل التي مرّت بها «أزمة الأسس» في الرياضيات، كما عرضناها آنفاً:

ـ بدأت المشكلة أول ما بدأت عندما أدى البحث في مسلمة التوازي التي أسس عليها أوقليدس هندسته إلى قيام هندسات لاأوقليدية. وإذا كان هذا البحث قد أدى إلى نتائج ايجابية تتلخص في ظهور أنواع أخرى من الهندسات فتحت آفاقاً واسعة أمام الرياضيين، فإن «مشكلة الأسس» بقيت مع ذلك، بل بسبب من ذلك، مطروحة بحدة أكثر.

ـ لقد ظل حدس الاتصال أساساً للتحليل حتى بعد أن تحوّلت الهندسة إلى جبر. ولكن تقدم «التحليل» نفسه أدى إلى اكتشافات تقوض ذلك الأساس نفسه، أي الاتصال الهندسي: من هذه الاكتشافات الدوال المنفصلة خاصة.

ـ وعندما لجأ الرياضيون إلى العدد لجعله أساساً جديداً للرياضيات بمختلف فروعها، وكانوا قد حققوا نجاحاً مهماً في ردّ مختلف الأعداد إلى العدد الصحيح، اصطدموا بمشكلة

---

(٦) Michel Combès, *Fondements des mathématiques*, SUP, initiation philosophique; 97 (Paris: Presses universitaires de France, 1971).

(٧) راسل، **أصول الرياضيات**، ج ١، ص ١٨.

العدد نفسه: ما هو؟ ومشكلة تعدد اللانهايات في سلاسل الأعداد، وغيرها من المشاكل المماثلة.

ـ وأخيراً، عندما ظهرت نظرية المجموعات بدا أنه من الممكن تأسيس الرياضيات عليها. ونجحت النظرية فعلاً في استيعاب مختلف فروع العلم الرياضي وجمع شتاته وتحقيق الوحدة والانسجام بين كافة أجزائه. ولكن ها هي نظرية المجموعات نفسها تعاني تناقض خطيرة.

فما العمل إذن؟

لقد أشرنا إلى احتدام النقاش بين الرياضيين حول هذه المسائل في بداية هذا القرن. وهو نقاش استمر قوياً إلى حوالى الأربعينيات، ولا زالت بعض آثاره باقية إلى اليوم، ولكن دون أن تكتسي مشكلة الأسس تلك الصبغة الحادة التي كانت لها في العقدين الأولين من هذا القرن.

وعلى العموم تصنف وجهات النظر حول مشكلة الأسس هذه إلى ثلاث رئيسية، هي: النزعة المنطقية والنزعة الحدسية والنزعة الأكسيومية. وسنقول كلمة حول كل واحدة من هذه النزعات، ثم نختم بطرح المشكلة كما هي في الوقت الراهن.

١ ـ النزعة المنطقية

كان ليبنز أول من أبرز التشابه بين المنطق والرياضيات. فلقد انتبه إلى أن الرياضيات كلها عمليات استنتاج تتمّ انطلاقاً من مبادىء منطقية وبواسطة مبادىء منطقية، كما لفت الأنظار إلى أن «البديهيات» الرياضية يمكن أن ترد بالتحليل إلى معانٍ منطقية. ولذلك ألح على ضرورة البحث عن المفاهيم المنطقية البسيطة التي ترد إليها البديهيات الرياضية، وبعبارة أخرى: البحث عن الأوليات المنطقية التي يمكن بواسطتها تعريف الأوليات الرياضية. كما أكد من جهة ثانية على ضرورة استخدام الرموز في الأبحاث المنطقية التي يراد منها استخلاص الأصول الأولية للفكر. فعلاوة على أن الرموز تمكننا من تمثيل كل فكرة برمز، فهي تمكننا كذلك من عرض البناء الرياضي في صورة منطقية دقيقة. ومن هنا ألحّ ليبنز من جهة ثالثة على ضرورة اعتبار العمليات العقلية الاستدلالية نوعاً من الحساب، الشيء الذي يعني اعتبار المنطق جزءاً من العمليات الجبرية.

إن هذا الذي أبرزه ليبنز ودعا إليه يعتبر بحق بداية لمنعطف جذري حاسم في تاريخ المنطق. فلقد ظل المنطق الصوري منذ أرسطو إلى ليبنز واحداً، دون أي تجديد يذكر. وبما أن كانت كان يجهل هذه الدعوة الجديدة التي جاء بها ليبنز فقد كتب عام ١٧٧٠ في مقدمة الطبعة الثانية لكتابه **نقد العقل الخالص**، كتب يشيد بكمال المنطق الأرسطي قائلاً: «... لم يضطر المنطق، منذ أرسطو، إلى التراجع خطوة واحدة إلى الوراء... ولم يتمكن أيضاً حتى

الوقت الراهن، من أن يخطو خطوة واحدة إلى الأمام. إن كل القرائن تشير إلى أنه علم قد تمّ واكتمل».

لكن الوضع تغيّر تماماً منذ أواسط القرن التاسع عشر. حينها أخذ المناطقة يقتبسون من الرياضيات أساليبها ومناهجها. وكان بول Boole (١٨١٥ - ١٨٦٤) أحد كبار المناطقة الانكليز أول من وضع دعائم «الحساب المنطقي» اقتداء بالحساب الجبري المعروف. وكانت الفكرة الموجهة له هي التالية: إذا كنا نستخدم في عمليات الجبر رموزاً لها خصائص معينة فمن الممكن استخدام رموز مشتقة من الرموز الجبرية للتعبير عن العمليات الفكرية. وهكذا دشّن طريقة جديدة في المنطق، بل منطقاً جديداً هو «المنطق الجبري» الذي يعتمد التعبير على العمليات الفكرية برموز جبرية. ولكن هذا «الجبر المنطقي» لم يكتمل إلاّ مع راسل وهوايتهيد اللذين جعلا منه ما يسمّى اليوم بـ «المنطق الرياضي» أو «المنطق الرمزي» Logistique. وهو منطق يعنى بدراسة الاستدلال الاستنتاجي من حيث صورته فقط، فهو لا يهتم بالرجوع إلى محتواه الخاص، بل يدرس أي الصور تصلح في الاستدلال دون إشارة إلى الطبيعة المادية المشخصة للأحكام. وبما أن هذا المنطق يدرس الاستدلال[8] فهو ينطلق من «بديهيات» أي مقدمات تصلح للبرهنة على النظريات المنطقية، هذا إلى جانب مفاهيم منطقية توضع بلا تعريف وتصلح لتعريف المفاهيم المنطقية الأخرى (طريقة أكسيومية).

وهنا لا بد من التمييز بين النزعة المنطقية - التي ترد الرياضيات إلى المنطق كما سنرى - وبين النزعة الأكسيومية التي ترد هي الأخرى الرياضيات إلى المنطق، ولكن بشكل يختلف عن النزعة الأولى.

إن الصياغة الأكسيومية ترد الرياضيات - بمعنى ما من المعاني - إلى المنطق ولكن ليس بنفس الشكل الذي تفعله النزعة المنطقية: قضايا المنظومة الأكسيومية بالنسبة إلى النزعة المنطقية هي قضايا صورية محض، وتعتبر صحيحة لكونها صورية محضاً. أما بالنسبة إلى النزعة الأكسيومية فإن القضايا الأولية والنظريات المبنية عليها هي صورية محض، وفارغة تماماً ولكنها لا تعتبر صحيحة لكونها صورية. إن المنظومة الاستدلالية هي وحدها التي تعتبر صحيحة لكونها صورية. هذا من جهة، ومن جهة أخرى تختلف النزعة الأكسيومية الصورية (الشكلية، هلبر) عن النزعة المنطقية (راسل) في كون الأولى حصرت اهتمامها في القضايا الرياضية التي تعتبرها صيغاً لرموز متواضع عليها، رموز لا تحمل أي معنى محدد وليس لها أي مدلول خارجي. ومن هنا تكون الرياضيات منحصرة في معرفة كيفية استبدال صيغة رمزية بصيغة رمزية أخرى. أما النزعة الثانية (النزعة المنطقية عند راسل) فهي ترى أن الأوليات الرياضية لها معان في الخارج، ولذلك فهي تأخذ على النزعة الأكسيومية الصورية إهمالها

---

(٨) الاستدلال يشمل عادة على الاستنتاج والاستقراء. ولكن برتراند راسل يعتبر الاستقراء إما نوعاً من الاستنتاج خفياً، وإما طريقة تجعل التخمينات مقبولة. ولذلك فهو لا يميز بين الاستنتاج والاستقراء. انظر: نفس المرجع، ج ١، ص ٤٣.

تحليل الأوليات الرياضية في استقلال عن القضايا التي تدخل فيها. ولذلك تولي النزعة المنطقية اهتماماً أكبر لتحليل الأوليات الرياضية موضحة كيف يمكن تعريف تلك الأوليات بواسطة عدد قليل من الأوليات المنطقية الأساسية، وكيف أن القضايا الرياضية هي قضايا صادقة لا يرد فيها غير الأوليات الرياضية والأوليات المنطقية.

من هنا يتبين لنا كيف طابق راسل بين المنطق والرياضيات. فـ الرياضيات في نظره جزء من المنطق أو امتداد له. وقد برهن على ذلك بعمليتين متكاملتين: تحليل الرياضيات تحليلاً منطقياً بردِّها إلى أصولها المنطقية، ثم تحليل المبادىء المنطقية نفسها تحليلا ينتهي بها إلى عدد قليل من الفروض التي منها نستطيع أن نستنبط جميع قواعد المنطق، وجميع قواعد الرياضيات معاً، فتزول بذلك الفوارق بين المنطق والرياضيات. وهكذا عمد أولاً إلى تعريف الأعداد الطبيعية تعريفاً منطقياً، أي ردها إلى ألفاظ دالة على مفاهيم منطقية. ثم انتقل ثانياً إلى بيان أن الرياضيات كلها يمكن ردها إلى فكرة العدد الطبيعي[٩]. (وقد كانت هذه العملية الثانية وما تزال موضوع اعتراض من طرف الرياضيين، وهي تشكل إحدى الصعوبات الأساسية التي تعترض النزعة المنطقية هذه).

تتميز القضايا الرياضية عند راسل بخاصيتين أساسيتين: **الأولى**، هي أنها جميعاً قضايا تنحل إلى علاقة اللزوم المنطقي (إذا كان كذا... نتج كذا). **والثانية**، هي اشتمالها على متغيرات، وعلى ثوابت هي فقط الثوابت المنطقية[١٠]. ولذلك يعرِّف الرياضيات كما يلي: «الرياضيات البحتة[١١] هي جميع القضايا التي صورتها «ق يلزم عنها ك» حيث ق، ك، قضيتان تشتملان على متغير واحد أو جملة متغيرات هي بذاتها في القضيتين، علماً بأن كلاً من ق، ك، لا تشتمل على ثوابت غير الثوابت المنطقية»[١٢] ويقول أيضاً: «... وينبغي أن لا يدخل في الرياضيات البحتة شيء لا يمكن تعريفه، فيما خلا الثوابت المنطقية. وعلى ذلك يجب أن لا يدخل في الرياضيات من المقدمات أو القضايا التي لا يمكن اثباتها غير تلك التي تعالج فقط بالثوابت المنطقية والمتغيرات» ثم يضيف: «... الصلة بين الرياضيات والمنطق وثيقة جداً، فإن كون جميع الثوابت الرياضية، ثوابت منطقية بها تتعلق جميع المقدمات الرياضية، فهذا، في اعتقادي، هو معنى ما ذهب إليه الفلاسفة في قولهم إن الرياضيات أولية»[١٣]. يوضح راسل تصوره للعلاقة بين المنطق والرياضيات بشكل واضح فيقول: «... والتمييز بين الرياضيات والمنطق أمر اختياري؛ وإذا شئنا التمييز بينهما فذلك على النحو التالي: يتألف المنطق من المقدمات الرياضية بالإضافة إلى جميع القضايا الأخرى التي تعنى فقط بالثوابت المنطقية، وبالمتغيرات التي لا تحقق التعريف الذي وضعناه للرياضيات (أو هو

---

(٩) نفس المرجع. انظر أيضاً: زكي نجيب محمود، **المنطق الوضعي**، ٢ ج، ط ٤ (القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٦٦)، ج ٢، ص ١١٥.

(١٠) راسل، نفس المرجع، ص ٣٤ ـ ٣٥.

(١١) هي الرياضيات النظرية، أو الرياضيات المحضة. وذلك في مقابل الرياضيات التطبيقية.

(١٢) نفس المرجع، ص ٣١.

(١٣) نفس المرجع، ص ٣٨ ـ ٣٩.

المذكور أعلاه). والرياضيات تتكوّن من جميع نتائج المقدمات السابقة التي تقرر لزوماً صورياً يشتمل على متغيرات، بالإضافة إلى بعض تلك المقدمات ذاتها التي تحمل هذا الطابع وبناء على هذا تكون بعض المقدمات الرياضية مثل مبدأ القياس المنطقي كقولك: «إذا كانت ق، تلزم عنها ك، وكانت ك، تلزم عنها ر، فإن ق تلزم عنها ر» هي من الرياضيات، بينما البعض الآخر مثل «اللزوم علاقة» هي من المنطق وليست من الرياضيات. ولولا ما جرى عليه العرف لقلنا: إن الرياضيات والمنطق متطابقان، ولعرفنا كلاً منهما بأنها فصل القضايا التي تشتمل فقط على متغيرات وثوابت منطقية. ولكن احترامي للعرف يجعلني أفضّل الإبقاء على التمييز السابق مع اعتقادي بأن بعض القضايا مشتركة بين العلمين...»[١٤].

ويعرف راسل الثابت المنطقي بأنه: «شيء يبقى ثابتاً في قضية حتى عندما نغير جميع مكوناتها»[١٥] أو أنه «هو ذلك الذي يعمّ عدداً من القضايا أية واحدة منها يمكن أن تستنتج من أية واحدة أخرى باستبدال حدود احداهما بالأخرى، مثال: «نابليون أعظم من ولنغتون» تنتج من «سقراط أسبق من أرسطو» باستبدال نابليون بسقراط وولنغتون بأرسطو، وأعظم بأسبق...»[١٦] فالمقصود إذن هو صورة القضية أو هيكلها. أما مكوّنات القضية أي الكلمات التي تتألف منها فهي متغيرات، يمكن إحلال كلمات أخرى محلها مع بقاء صورة القضية ثابتة. وكذلك الشأن بالنسبة إلى التمييز بين الرمز الثابت والرمز المتغير في الرياضيات. فالرمز الثابت هو ما لا يتغير معناه باختلاف موضعه في العبارة الرياضية. فالأعداد 4, 3, 2, 1, 0 ... الخ وكذلك الرموز (+)، (−)، (×)، (=)... الخ كلها رموز ثابتة، بمعنى أن قيمها لا تتغير بتغير سياقها ووضعها. أما الرموز المتغيرة فهي تلك الحروف الهجائية المستعملة في العبارات الرياضية، مثل س، ص، ع... الخ.

وبناء على هذا يمكن أن نتساءل. إن راسل يقول إن الرياضيات تشتمل على متغيرات وثوابت (منطقية فقط)، في حين أنه يقول عن الأعداد وعلامات الجمع والمساواة إنها ثوابت، أليست العبارة الرياضية التالية 1 + 2 = 3 قضية كلها ثوابت، أي أنها أعداد لا يتغير معناها بتغير موضعها في العبارة الرياضية (إذ بوسعنا أن نكتب 2 + 1 = 3 أو 3 = 1 + 2)؟

يجيب راسل عن هذا الاعتراض قائلاً: «أحب أن أكرر في وضوح أن جميع القضايا الرياضية مؤلفة من متغيرات، حتى حين يبدو للوهلة الأولى أنها خالية منها. فقد يظن أن قضايا الحساب الابتدائي تشكل استثناء لهذه القاعدة. فقولنا 1 + 1 = 2 قد يبدو أنه يفقد الخاصيتين اللتين ذكرناهما، فلا هو يشتمل على متغيرات، ولا هو دال على اللزوم المنطقي. وحقيقة الأمر هي أن المعنى الصحيح لهذه القضية هو هذا: «إذا كانت س واحد وكانت ص

---

(١٤) نفس المرجع، ص ٣٩.

(١٥) برتراند راسل، مقدمة للفلسفة الرياضية، ترجمة محمد مرسي أحمد (القاهرة: مؤسسة سجل العرب؛ المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب، ١٩٦٢)، ص ٢٨٩.

(١٦) نفس المرجع، ص ٢٨٦.

واحد، ثم إذا كانت س تختلف عن ص، فإن س، ص، يكونان اثنين». هذه القضية تشتمل على متغيرات، وهي دالة على لزوم منطقي. فالقضية السابقة يمكن التعبير عنها كما يلي: «أي وحدة وأي وحدة أخرى تكونان وحدتين» وهكذا فتحويل الثوابت في قضية ما إلى متغيرات يجعل منها قضية رياضية»[17].

لعل ما تقدم يكفي لإعطاء القارىء فكرة عن النزعة المنطقية عامة، وعن تصور برتراند راسل، زعيم هذه النزعة، للعلاقة بين الرياضيات والمنطق. وعلينا الآن أن نوضح ـ بإيجاز ـ كيفية معالجته لنقائض نظرية المجموعات استناداً إلى تصوره ذاك.

هنا لا بد من كلمة عن نظرية راسل في «الفصول» أو «الفئات» Classes ونظريته في «الأصناف» أو «الأنماط» Types. لقد سبقت الإشارة إلى أن راسل يرد الرياضيات كلها إلى فكرة العدد الطبيعي، ومن هنا أهمية تعريف هذا العدد، ونظرية الأصناف هي التي تمده بهذا التعريف..

يلاحظ راسل، بادىء ذي بدء، أن «العدد هو الخاصية التي تميز الأعداد، تماماً مثل الإنسان، فهو الخاصية التي تميّز الناس، فالكثرة ليست حالة من العدد، وإنما حالة لعدد خاص ما، فثلاثي رجال مثلاً ـ الرجال الذين يأتون ثلاث، ثلاث ـ حالة للعدد 3، والعدد 3 حالة من حالات العدد، ولكن الثلاثي ليس حالة للعدد... والعدد الخاص ليس متطابقاً مع المجموعة التي لها هذا العدد. فالعدد 3 ليس مطابقاً مع الثلاثي المكوّن من أحمد، وعلي، ومحمد، لأن العدد 3 شيء مشترك بين جميع الثلاثيات ـ أي بين جميع الأشياء التي هي ثلاث، ثلاث ـ ويميزها عن المجموعات الأخرى: العدد شيء يبين مجموعة معينة، وهي تلك التي لها هذا العدد»[18].

بعد هذه الملاحظة، وبعد التمييز بين التعريف بالمصادق (الذي يسرد أعضاء المجموعة أو الفئة المراد تعريفها) والتعريف بالمفهوم (الذي يذكر الصفة أو الصفات التي تميّز أفراد فئة معينة عن أفراد فئة أخرى)، ينتقل إلى تعريف العدد فيقول: «من الواضح أن العدد طريقة بها تُجمع معاً مجموعات معينة هي تلك المجموعات التي لها عدد معلوم من الحدود. فقد ننظر إلى جميع الأزواج في حزمة وجميع الثلاثيات في أخرى، وهكذا. ونحصل بهذه الطريقة على حزمات مختلفة من المجموعات، وكل حزمة مكوّنة من جميع المجموعات التي لها عدد معين من الحدود. وكل حزمة فصل أعضاؤها مجموعات أي فصول، وإذن فكل واحد منها هو فصل فصول. فالحزمة المكوّنة من جميع الأزواج مثلاً هي فصل فصول، وكل زوج فصل من

---

(١٧) راسل، أصول الرياضيات، ص ٣٥. هذا وقد اعتمدنا ترجمة الدكتور زكي نجيب محمود الذي ورد هذا النص في كتابه: المنطق الوضعي، ج ٢، ص ٥٢.

(١٨) راسل، مقدمة للفلسفة الرياضية، ص ٢٥.

عضـوين، وحزمة الأزواج كلها فصل له عدد لا نهاية له من الحدود كـل واحد منهـا فصل من عضوين. . . »[19].

نحن هنا إذن أمام أعضاء، أو أفراد، أو عناصر، تـشكل مجموعات أو فصـولاً، وأمام فصـول (أو مجموعـات) تشكل فصـولاً فصولاً، (أو مجمـوعات مجمـوعات). وللتـأكد من أن مجموعتين تنتميان إلى حزمة واحدة، أي إلى مجموعة واحدة يخطر بالذهن أن الوسيلة الوحيـدة إلى ذلك هي عدّ الحدود التي تـشكل منها كل من المجمـوعتين. ولكن هـذا يفترض استعـال الأعداد وإننا قد عرفناها. ولـذلك فـالطريقـة الأسلم هي طريقـة التناظر، أو «علاقـة واحد بواحد» كما شرحنا ذلـك قبل، وعنـدما تكـون هناك عـلاقة واحـد بواحـد تربط حـدود أحد الفصلين، كـل واحد منهـا بحد واحـد من الفصـل الآخـر، يقال حينئـذ إن هـذين الفصلين «متشابهان». وهكذا فالفصول التي يشتمل كل منها على عضـو واحد فصول متشابهة، وكذلك الشـأن في الفصـول التي يشتمـل كل منهـا على عضـوين فهي متشابهـة أيضاً. والفصـول التي يشتمل كل منها على ثلاثة أعضاء هي متشابهة كذلك وهكذا. . . ومن هنـا التعريف التـالي: «عدد الفصـل هو: فصل جميع الفصول المتشابهة لـه»، فعدد الـزوج هو فصـل جميع الأزواج. وبعبارة أخرى فصل جميع الأزواج هو العدد 2، وفصـل جميع الثلاثيات هو العـدد 3، وفصـل جميع الرباعيات هو العدد 4 وهكذا. . . وبكيفية عامة: «العـدد هو أي شيء هـو عدد فصـل ما»، تماماً مثلما نقول: «فصل الآباء هو جميع هؤلاء الذين هم آباء أشخاص ما»[20].

واضـح مما تقـدم أن تناقض نـظرية المجمـوعـات، وعـلى الأخص منهـا تلك المتعلقـة بالمجموعات الجزئية التي تكون أكثر عدداً من عناصر المجموعـة التي تنتمي إليها، وبمجمـوعة المجمـوعات التي لا تـشتمـل على نفـسهـا، يمكن أن تـرد إلى المنطق إذا سـاوينـا بـين مفهـوم المجموعة عند كانتور، ومفهوم الفصـل عند راسـل. وفعلاً لقد أوضـح راسـل في الباب الثـامن من «مقدمة الفلسـفة الرياضية» كيف أن عدد الفصول التي يشتمـل عليها فصل معلوم هو أكبر دوماً من عدد أعضـاء ذلك الفصـل، واستنتج من ذلـك أنه ليـس هنـاك عدد طبيعي أكـبر من عـدد الفصول الفـرعية. ولكنـه لاحظ بعد ذلـك ـ في الفصـل الثـالث عشر ـ أنـه من الممكن الجمـع في فصل واحـد بين الأعضـاء (أي الأفراد أو العنـاصر)، وفصـول الأفـراد، وفصـول فصـول الأفراد وهكذا. . . وحينئذ سـتكون النتيجة «فصل تكون فصوله الفرعية ذاتها أعضاء. والفصـل المكوّن من جميع الأشياء التي يمكن عدها، من أي نوع كانت، يجب، إن وجـد مثل هذا الفصل، أن يكون له عـدد أصلي (طبيعي) هـو أكبر مـا يمكن. وما دامت جميـع فصوله الفـرعية ستكـون أعضـاء فيـه، فـلا يمكن أن يكـون هنـاك من الفصـول الفـرعيـة أكـثر من الأعضـاء. وعندئـذ نصل إلى تنـاقض»[21]. ويشرح راسل هـذا التـناقض بقـولـه: «الفصـل الشـامل الذي نبحث أمره والذي يجب أن يشـمل كـل شيء يجب أن يشمل نفسـه كواحـد من

---

(١٩) نفس المرجع، ص ٢٨.

(٢٠) نفس المرجع، ص ٣٣ ـ ٣٤.

(٢١) نفس المرجع، ص ١٩٨.

أعضائه. وبعبارة أخرى، إن وجد مثل هذا الشيء الذي نسميه «كل شيء»، إذن «كل شيء» ـ هذا ـ هو شيء ما، وعضو من الفصل «كل شيء». ولكن عادة لا يكون الفصل عضواً في نفسه، فالانسانية مثلاً ليست انساناً»[22] وإذن: «لن تكون للعبارة التي تتحدث عن فصل مفيد ذات معنى إلاّ إذا استطاعت أن تترجم في صورة ليس فيها ذكر للفصل. . . فالفرض بأن الفصل عضو أو ليس عضواً من نفسه لا معنى له»[23].

وكما تنسحب هذه النقيضة على الفصول تنسحب كذلك على الخصائص التي تعرف بها الفصول، فبعض الخصائص (أو الصفات) يمكن أن توصف بها هي نفسها، وبعبارة أخرى بعض الخصائص تمتلك هي نفسها الخاصية التي تشير إليها. فـ «المجرد» صفة أو خاصية هي نفسها مجردة. و «ليس أحمر» هو نفسه ليس أحمر. ولكن هناك من الخصائص ما لا يمكن أن تكون خاصية لنفسها. فـ «أحمر» خاصية، ولكنها لا يمكن أن تنسحب على نفسها لأن «أحمر» ليس بأحمر. الخصائص التي من النوع الأول خصائص حملية، أي تحمل على نفسها، والخصائص التي من النوع الثاني خصائص لاحملية (أي لا تحمل على نفسها).

لنفحص الآن كلمة «لاحملية» نفسها، أي الخاصة التي يدل عليها قولنا: «ما لا يحمل على نفسه». فإذا كان «ما لا يحمل على نفسه»، لا يحمل على نفسه فإن ذلك يعني أن هذه الخاصية تنسحب على نفسها، وبالتالي فهي تقبل الحمل على نفسها الشيء الذي يستلزم أنها ليست مما لا يحمل على نفسه. أما إذا كان «ما لا يحمل على نفسه» ليس مما لا يحمل على نفسه، فإن ذلك يعني أن هذه الخاصية لا تنسحب على نفسها، وإذن، فهي مما لا يحمل على نفسه[24].

وعندما نبحث عن أسباب مثل هذه التناقضات نجد أن المسألة تتعلق بحلقة مفرغة ـ كما يقول راسل ـ ذلك لأن تعريف الشيء هنا يتم بالرجوع إلى مجموعة كلية يشكل هو نفسه أحد أعضائها أو جزءاً من أجزائها. إن تعريف الجزء بالكل الذي ينتمي إليه لا يمكن أن يكون له معنى إلاّ إذا كان الكل نفسه قائماً بنفسه مستقلاً عن أجزائه. وكما يقول بوانكاريه: «إذا كان تعريف مفهوم ما، وليكن ن، يتوقف على جميع الأشياء التي نرمز إليها بحرف «أ» مثلاً، فإن هذا التعريف يمكن أن يقع في حلقة مفرغة إذا كان هناك ضمن تلك الأشياء التي رمزنا لها بحرف أ، أشياء لا يمكن تعريفها دون الاستعانة بمفهوم ن نفسه»[25].

من أجل تجنب مثل هذه التعاريف، وبالتالي للتغلب على نقائض نظرية المجموعات وغيرها من النقائض المماثلة، يأتي راسل بنظرية في الأصناف، وهي نظرية تعترضها صعوبات ولا يعتبرها راسل نفسه مكتملة ولانهائية. تقوم هذه النظرية على تصنيف الأشياء إلى أنواع

---

(٢٢) نفس المرجع، ص ١٩٩.

(٢٣) نفس المرجع، ص ٢٠٠.

(٢٤) راسل، أصول الرياضيات، ص ١٧٥. انظر أيضاً: Combès, *Fondements des mathématiques*, p. 32.

(٢٥) Combès, Ibid., p. 15.

مرتبة ترتيباً هرمياً، الشيء الذي يجعل الفصول (أو المجموعات) لا تحتل مرتبة واحدة، ففصل الصم، وفصل القرود، وفصل الحيوانات، لا توجد بنفس الشكل من الوجود في العالم، إذ يتوقف نوع الوجود الذي لكل من هذه الفصول على أعضائها. فلا بد من وجود - أو امكانية وجود - أعضاء فصل ما حتى يكون هذا الفصل موجوداً. وبعبارة أخرى إن **وجود الفصل هو وجود من الدرجة الثانية بالقياس إلى وجود أعضائه، فهو في مرتبة أعلى**. وبناء على ذلك فإن فكرة «الفصل الذي يشتمل على نفسه» فكرة غير معقولة، تنطوي على خلف، لأن الفصل هو بالضرورة من صنف أعلى من صنف العناصر التي يشتمل عليها. من هنا يتمحي من تلقاء نفسه ذلك التناقض الذي ينطوي عليه «فصل الفصول التي لا تشتمل على نفسها» وكذلك الشأن بالنسبة إلى التناقضات المماثلة، كذلك الذي تحدثنا عنه منذ قليل والخاص بـ «ما لا يقبل الحمل على نفسه»، لأن الخواص نفسها مرتبة أيضاً ترتيباً هرمياً كالفصول، كما يصبح الحديث عن «فصل جميع الفصول» أمراً لا معنى له (لأن هذا الفصل سيشتمل على نفسه، وهذا غير جائز كما شرحنا، ومثل ذلك العدد الترتيبي لجميع الأعداد الترتيبية)[26].

إن نظرية الأصناف هذه تحل فعلاً مشكلة النقائض، ولكنها تثير صعوبات كثيرة، من بينها أن تعريف العدد كما قدّمناه قبل، يصبح باطلاً حسب هذه النظرية نفسها. ذلك لأننا سنكون أمام كثرة من العدد 2 مثلاً، لأنه سيكون علينا أن نميز فصل الأزواج الخاص بالأشياء، عن فصل الأزواج الخاص بفصول الأزواج، وهكذا. . . بحيث يصبح من غير المشروع الحديث عن فصل جميع الأزواج، وهو الفصل الذي عرفنا به العدد 2 وهكذا. . . ونظراً لمثل هذه الصعوبات التي تثيرها نظرية الأنماط هذه، وعلى الرغم من التعديلات التي ادخلها عليها رامزي Ramsey ومن بعده فيتجنشتين Wittgenstein فإنه يمكن القول بصفة عامة إن النزعة المنطقية لم تنجح النجاح الكامل في حل مشكلة النقائض، على الرغم من نجاحها في إبراز الصلة الوثيقة القائمة بين المنطق والرياضيات. فهل ستنجح النزعة الحدسية في ما فشلت فيه النزعة المنطقية؟

٢ ـ النزعة الحدسية

لعله من المفيد أن نشير أولاً إلى أن التعارض بين النزعة الحدسية والنزعة المنطقية قديم قدم الرياضيات النظرية نفسها. فقد سبقت الإشارة من قبل إلى امكانية التمييز في التفكير الرياضي عند اليونان بين مدرستين: مدرسة فيثاغورية أفلاطونية، ومدرسة أرسطية أوقليدية على الرغم من وجاهة الرأي القائل إن الاستدلال المنطقي لم يكن في نظر الرياضيين اليونان سوى وسيلة تمكّن الرياضي ـ والفيلسوف عامة ـ من اكتساب القدرة على حدس الحقائق حدساً كلياً مباشراً.

---

(٢٦) راسل، أصول الرياضيات، ص ٣٣ ـ ٣٤.

وقد أقام ديكارت كما هو معلوم منهجه على أساس من الحدس والاستنتاج، فالحدس عنده رؤية عقلية مباشرة لحقائق بسيطة، ومن هذه الحقائق البسيطة نستنتج حقائق أخرى. فأساس المعرفة عنده، أي قاعدتها الأساسية هو الحدس. ولذلك يصنف إلى جانب الحدسيين على الرغم من تحويله الهندسة إلى جبر، وهو تحويل لم يكن تاماً، لأنه استبقى ـ كما أشرنا إلى ذلك قبل ـ ذلك المستقيم الذي تشيد به الدوال الرياضية، وبالتالي علم التحليل كله. ولسنا في حاجة إلى التذكير هنا بأن الحدس الهندسي قد بقي ملازماً للرياضيات إلى فترة متأخرة جداً. بل إن المعادلات الجبرية (كالمعادلات التي من الدرجة الثانية مثلاً) كانت تحل بواسطة الأشكال الهندسية، قبل قيام الجبر الحديث الذي يستعمل الرموز. وعلى الرغم من أن ليبنز كان ذا نزعة منطقية واضحة فإنه كان يعترف بأهمية الحدس وبسهولة ورشاقة براهينه. يقول: «إن علماء الهندسة يستطيعون البرهنة بكلمات قليلة على قضايا يصعب اثباتها عن طرق الحساب إلى حد بعيد. فالطريق الجبري يؤدي دائماً إلى الهدف، ولكنه ليس على الدوام أفضل الطرق»(٢٧).

وقد شهدت بداية القرن نزاعاً حاداً بين أنصار النزعة الحدسية من جهة والنزعة المنطقية والأكسيومية من جهة ثانية، فنشأ عن ذلك نقاش واسع وخصب حول أهمية الحدس في الرياضيات. فإذا كانت الرياضيات تتصف بالصرامة المنطقية، وتعتمد المنطق في عرضها لمسائلها مما يعطيها وحدتها وتماسكها، فإن المنطق، في نظر الحدسيين عموماً لا يكفي وحده، إن عنصر الخصوبة في الرياضيات راجع إلى الحدس. ولقد ذهب بوانكاريه إلى أبعد من ذلك، فحاول أن يبرهن على أن الاستدلال الرياضي هو نوع من الاستقراء سماه بـ «الاستدلال التكراري Raisonnement par recurrence» وقد دخل بوانكاريه مع راسل في مناقشات حامية حول هذا الموضوع(٢٨).

وعلى العموم يرى الحدسيون ومن بينهم بوانكاريه Poincaré ولوبيغ Lebesgue وبير Baire وبوريل Borel أن الرياضيات لا تشتق من المنطق كما ذهب إلى ذلك راسل، بل تحتاج إلى «مادة» (في مقابل الصورة)، تحتاج إلى تجربة من نوع خاص هي الحدس التجريبي، (بالمفهوم الكانتي). أما المنطق أو الأكسيوماتيك فهما وسيلة لشرح واستعراض الكشوف الهندسية التي تقوم على الحدس دوماً. ولكن الصعوبة التي تعترض أنصار الحدس هي تحديد معنى الحدس ذاته. فليس المقصود بطبيعة الحال حدس الأشياء الحسية المشخصة، بل هو «رؤية مباشرة كلية» لا تقبل التعريف بأكثر من هذا، فهو كما يقول بوانكاريه «لغة لا تتعلم». ولذلك يضطر الرياضي عندما يريد عرض الكشوف التي لمحها بالحدس إلى استعمال المنطق في تفصيلها والبرهنة عليها. ويرى بوليغان G. Bouligand أن الحدس الرياضي يعتمد دوماً على

---

(٢٧) ذكر في: بول موي، **المنطق وفلسفة العلوم**، ترجمة فؤاد زكريا (القاهرة: دار نهضة مصر للطبع والنشر، [د. ت.])، ص ١٣٥.

(٢٨) انظر في قسم النصوص، نصاً لبوانكاريه، يشرح فيه الاستدلال التكراري وعلاقة المنطق بالرياضيات ودور الحدس فيها.

معارف رياضية سابقة، فلا بد فيه من الخيال والذاكرة معاً. . . يقول: «فالحدس لا يتدخل ابتداء من معطيات عينية وحسب. . . بل سرعان ما يكتسب لدى الرياضي فاعلية في ظروف أوسع من ذلك بكثير. . . فعالم الهندسة، إذ يصبح أكثر «ألفة» بالكيانات التي يدرسها، ينتهي به الأمر إلى أن يكوّن لنفسه عنها فكرة تعادل في وضوحها فكرته عن الأشياء الحقيقية التي يحفل بها العالم الخارجي. وعلى هذا النوع يتكوّن في بعض مناطق العالم الرياضي ميل إلى إدراك علاقات، عظيمة الدقة في أغلب الأحيان، وذلك عندما يكون كشف هذه المناطق قد بلغ حداً معيناً من التقدم»[29].

على أن المقصود بـ «النزعة الحدسية» أو «النزعة الحدسية الجديدة» Néo-intuitionnisme عند الحديث عن نقائض نظرية المجموعات وأسس الرياضيات بكيفية عامة، هو تلك المدرسة الرياضية التي يتزعمها الرياضي الهولاندي بروور Brouwer وغيره من الرياضيين الكبار أمثال فايل Weyl، وهايتنغ Heyting، وهي نزعة تعارض معارضة شديدة كلاً من النزعة المنطقية والنزعة الأكسيومية.

يمكن إجمال رأي النزعة الحدسية الجديدة، بصدد الموضوع الذي ناقشه، في نقطتين أساسيتين: الأولى تتعلق بـ **طبيعة الموضوعات** الرياضية، والثانية بمبدأ أساسي في المنطق هو **مبدأ الثالث المرفوع**.

أ ـ بخصوص النقطة الأولى يرى الحدسيون عامة ـ القدماء بوانكاريه وبوريل، والجدد، بروور وأتباعه ـ أن أساس مشكلة النقائض في الرياضيات الحديثة هو القول بوجود مجموعات لامتناهية. ولذلك كانت تلك النقائض، في الحقيقة والواقع، نقائض «اللانهاية»، ومن ثمة فإن تجنب هذه النقائض يستلزم مراجعة فكرة اللانهاية.

لقد شعر راسل من قبل بهذه الحقيقة ولكنه قلّل من أهميتها، خصوصاً، عندما لاحظ أن نقائض مماثلة لنقائض المجموعات اللامتناهية تطرح أيضاً في ميدان المتناهي: (الرجل الذي يقول إني أكذب). . . و«ما لا يقبل الحمل على نفسه»، أما الحدسيون الجدد فقد اتخذوا منها منطلقاً في معارضتهم للنزعة المنطقية والنزعة الأكسيومية معاً. والواقع ـ كما يقول كومبيس[30] ـ أن الرجل الذي يعتمد الحدس أساساً في أبحاثه الرياضية لا بد أن يشعر بما يشبه الدوران أو الغثيان عندما يطلب منه إدراك اللانهاية كأنها موضوع قد تمّ بناؤه، والوقوف عليها كاملة، في حين أن اللانهاية لا تقبل ذلك بالتعريف، أنه لا يستطيع أن يتصور ما يتم بناؤه على أنه شيء مبني فعلاً.

وهكذا يرى هايتنغ أن مما ليس له معنى: القول بوجود موضوعات رياضية مستقلة عن

---

(٢٩) ذكر في: موي، نفس المرجع، ص ١٣٧ ـ ١٣٨. وللمزيد من التفاصيل انظر:
Georges Bouligand, *Les Aspects intuitifs de la mathématique*, l'avenir de la science, nouv. sér.; no. 2 (Paris: Gallimard, 1944).

(٣٠) Combès, *Fondements des mathématiques*, p. 42.

الفكر البشري الذي ينشئها، «وحتى إذا كان من الضروري النظر إلى الموضوعات الرياضية كموضوعات مستقلة عن النشاط الفردي للفكر، فإنها حسب طبيعتها الحقيقية متوقفة على الفكر البشري. إن وجودها مضمون فقط بمدى ما يمكن للفكر أن يحددها، وخصائصها موجودة بمقدار ما يمكن إدراك هذه الخصائص فيها بواسطة الفكر». وبعبارة أخرى إن وجود **الموضوعات الرياضية وجود معرفي وأنطولوجي معاً**.

من هنا يتضح أن المخرج الذي يلتمسه الحدسيون الجدد للخروج من المشكل الذي تطرحه النقائض هو التمسك بفكرة «البناء المشيّد فعلاً». يقول هايتنغ: «إن الرياضيات الحدسية بناءات ذهنية. والنظرية الرياضية تعبّر عن حادثة أو ظاهرة محض تجريبية، أي عن النجاح في تشييد بناء معين. فالقضية القائلة إن «2 + 2 = 3 + 1» يجب أن ينظر إليها بوصفها اختزالاً للقضية التالية: «لقد شيّدت البناء الذهني الذي تشير إليه «2 + 2» ثم البناء الذهني الذي تشير إليه «3 + 1» ووجدت أنهما يؤديان إلى نفس النتيجة». فإذا قيل له إن «2 + 2 = 3 + 1» قضية قائمة أبداً، أو أنها حقيقة أبدية، يجيب قائلاً: «إن جميع الرياضيين، حتى الحدسيين منهم، مقتنعون بأن الرياضيات تتناول، بمعنى ما من المعاني، الحقائق الأبدية. ولكن عندما نحاول تحديد هذا المعنى بدقة فإننا نسقط في متاهات الصعوبات الميتافيزيقية. ولذلك فالطريقة الوحيدة لتجنب هذه المتاهات والصعوبات هي طردها من الرياضيات». أما إذا قيل له ماذا تعني بـ «البناءات الذهنية» فإنه يجيب: أن 2 + 3 عملية ذهنية، أي حركة فكرية تدمج 2 في 3. والعددان 2 و3 هما أيضاً انشاءان ذهنيان. أما إذا أردنا الرجوع إلى أصل حدسنا للأعداد فيجب الرجوع إلى حدسنا للزمان... وهنا تلتقي هذه النزعة مع «كانت» فالحساب عند «كانت» هو حدس الزمان (أي التتابع)، والهندسة حدس المكان. ومعروف أن كانت يعتبر الزمان والمكان صورتين قبليتين للحساسية[31].

ومن هنا يتضح لنا ما يقصده بروور بما يسميه «حدس ثنائية الوحدة L'intuition de la bi-unité» الذي يجعله ظاهرة أساسية في التفكير الرياضي. فهو يرى أن النزعة الحدسية الجديدة تعتبر أن تجزئة لحظات الحياة إلى أجزاء تختلف عن بعضها بعضاً من حيث الكيف ويجمعها الزمان في وحدة واحدة مع بقائها منفصلة، ظاهرة أساسية في الفكر الرياضي. إنها «حدس ثنائية الوحدة» في حالتها الخالصة. إن هذا النوع من الحدس - الذي يتم به إدراك المنفصل متصلاً - أساسي في الرياضيات، فبواسطته تنشىء ليس فقط العددين 1، 2، بل جميع الأعداد الترتيبية النهائية. ذلك لأن أحد عناصر ثنائية - الوحدة يمكن النظر إليه كثنائية - وحدة جديدة، ولأن هذه العملية يمكن تكرارها إلى ما لانهاية له. ومن هذا النوع من الحدس الذي يمسك بالمرتبط وغير المرتبط، وبالمتصل والمنفصل، يتولد حدس عام مباشر، للمجموعات الخطية المتصلة - التي يتم الانتقال فيها بسهولة من أحد عناصرها إلى الآخر

---

(31) نفس المرجع، ص ٤٦ - ٤٧.

Continuum liénaire ـ أي حدس «ما بين» ـ أجزاء المتصل ـ الذي لا يمكن استنفاده بتوسط وحدات جديدة، والذي لا يمكن، بالتالي، النظر إليه كمجرد حشد للوحدات[٣٢].

ومن هنا أيضاً يتضح لنا لماذا يعترض الحدسيون على امكانية رد الأعداد الصماء إلى الأعداد الطبيعية، أي رد المتصل إلى المنفصل. إن الاتصال الهندسي كما يقول «وايل» لا يمكن التعبير عنه بأية بديهية (أو مسلمة). إنه من المستحيل بناء علم المتصل (الهندسة) بكيفية اكسيومية مستقلة. إنه من الضروري اللجوء إلى منهج التحليل (التحليل إلى البسائط). وعندما تنتهي مهمة التحليل (أي عندما نحدد البسائط) يمكن ترجمة نتائجه إلى لغة هندسية بواسطة منظومة احداثية. ويعلق كونزت Gonseth على هذه الفكرة قائلاً إن هذه الوجهة من النظر نجد تفسيرها الواضح في العبارة التي فاه بها كرونيكر Kroneker بصدد أسس الرياضيات، والتي قال فيها: «إن الأعداد الطبيعية الصحيحة من خلق الله، والباقي من صنع الانسان»[٣٣]. وتلك في الحقيقة النتيجة الحتمية التي يريد أصحاب النزعة المنطقية تجنبها بأي ثمن. ولذلك اجتهدوا في رد الأعداد الصحيحة هذه إلى المنطق كما رأينا مع برتراند راسل.

ب ـ وأما بخصوص النقطة الثانية، موقف النزعة الحدسية الجديدة هذه من المنطق عامة، ومن مبدأ الثالث المرفوع خاصة، فيمكن إيجازه كما يلي:

تعتبر النزعة الحدسية الجديدة المنطق في الدرجة الثانية بالنسبة إلى الرياضيات وذلك على العكس من النزعة المنطقية. يقول هايتنغ: «ليس المنطق هو الأساس الذي استند إليه. وكيف يجوز ذلك، وهو يحتاج إلى أساس، مبادئه أكثر تعقيداً وأقل مباشرة من مبادىء الرياضيات نفسها» أي أن مبادىء المنطق أكثر غموضاً وتعقيداً من مبادىء الرياضيات. ولذلك حاول هايتنغ تأسيس نوع جديد من المنطق مستوحى من الرياضيات، منطق يرفض صلاحية مبدأ الثالث المرفوع صلاحية مطلقة، ويعبر عن مبدأ عدم التناقض تعبيراً من هذا النوع: القضية الاثباتية معناها: «إني نجحت في إنشاء بناء ذهني». والقضية المناقضة لها هي: «لقد نجحت في إنشاء بناء ذهني آخر، ولكن التمسك بهذا البناء الثاني بافتراض البناء الذهني الأول قائماً، يؤدي إلى تناقض». ومثل ذلك فعل بالنسبة إلى مبادىء المنطق الأخرى.

ويتفق الحدسيون الجدد كلهم في مسألة أساسية، هي رفضهم لصلاحية مبدأ الثالث المرفوع صلاحية مطلقة. ومعلوم أن نقائض نظرية المجموعات ترجع كلها إلى مبدأ الثالث المرفوع الذي يقرر أن القضية إما صادقة وإما كاذبة. فلا مكان لقيمة ثالثة (أي لحل ثالث: كأن يقال مثلاً إن القضية صادقة وكاذبة معاً، أو فيها بعض الصدق وبعض الكذب).

---

(٣٢) انظر في قسم النصوص نصاً يعالج مشكلة المتصل.

(٣٣) Ferdinand Gonseth, *Les Fondements des mathématiques de la géométrie d'Euclide à la relativité générale et à l'intuitionnisme*, préface de Jacques Hadamard (Paris: A. Blanchard, 1926; 1974), p. 196.

يقول بروور: «إن تطبيق مبدأ الثالث المرفوع لا يمكن أن يتم دون قيد ولا شرط، إلّا في حظيرة ميدان رياضي نهائي ومحدد بوضوح». وهذا يعني أن المنطق الكلاسيكي لا يعبّر بصدق وفعالية إلّا عن الأمور التي تخص المجموعات المتناهية، ولا يذهب إلى أبعد من ذلك. ويضيف بروور قائلاً: «ليس للمنطق الكلاسيكي من قيمة إلّا بالنسبة إلى أجزاء العلوم الطبيعية التي يمكن أن تطبق عليها منظومة رياضية نهائية ومحددة. إن الاعتقاد في الفعالية اللامحدودة لمبدأ الثالث المرفوع في مجال دراسة القوانين الطبيعية يستلزم الاعتقاد في الطابع النهائي للعالم وفي بنيته الذرية» (أي أنه قائم على الانفصال). ولا يمكن أن يقال إن النقد الذي توجهه النزعة الحدسية لمبدأ الثالث المرفوع لا يعني الفيزيائي في شيء. كلا، «فالمناهج التي يستعملها عند دراسة الطبيعة التي يفترضها نهائية وذرية، مناهج تقوم على رياضيات المتصل وبالتالي على رياضيات اللامتناهي».

وبالجملة، فإن المبدأ الذي تنطلق منه النزعة الحدسية الجديدة، والذي يسميه كونزت «بديهية النزعة الحدسية» هو التالي: إن جميع أنواع اللامتناهي تفلت من قبضة مبدأ الثالث المرفوع، فهو لا يصلح فيها. ولكنه يحتفظ بصلاحيته بالنسبة إلى المقادير النهائية. نعم قد تكون هناك أنواع من اللامتناهي لا يؤدي فيها مبدأ الثالث المرفوع إلى تناقض. ولكن مع ذلك فإن هذا لا يعني أن هذا المبدأ صالح للتطبيق فيها ما دمنا لم نستنفد ولا يمكن أن نستنفد، جميع الامكانيات التي يمنحها اللامتناهي. يقول بروور: «وحتى إذا كان تطبيق مبدأ الثالث المرفوع لا يؤدي إلى تناقض، فإنه لا يمكن، مع ذلك، اعتباره، مشروعاً فالجريمة تبقى جريمة على الرغم من عدم تمكّن التحقيق القضائي من الكشف عنها وإثباتها»[٣٤].

وبعد، فما قيمة آراء هذه النزعة الجديدة؟ لنقل باختصار إنها نجحت فعلاً في تكسير قوالب المنطق القديم، منطق أرسطو الثنائي القيم، وفتحت المجال أمام أنواع أخرى من المنطق متعددة القيم. أما بالنسبة إلى ميدان الرياضيات فسنكتفي بالقول مع بول موي «... إن مذهب بروور يظل مذهباً خاصاً جداً، وهو على هامش الرياضيات الكلاسيكية تماماً»[٣٥]. وفعلاً إنه مذهب يعود بالرياضيات إلى الوراء، فيتركها مجزّأة مشتتة... ويضرب صفحاً، بالتالي، عن الإنجاز العظيم الذي حققته الرياضيات الحديثة: انجاز وحدة الرياضيات وتحقيق الانسجام بين مختلف فروعها. إنها المهمة التي أدتها النزعة الأكسيومية.

٣ ـ النزعة الأكسيومية

لقد تحدثنا في الفصل السابق عن الصياغة الأكسيومية للرياضيات، وشرحنا شروطها وخصائصها وأشرنا إلى أهمية المنهاج الأكسيومي بالنسبة إلى العلوم النظرية، وأبرزنا قيمته الايبستيمولوجية. ولذلك سننتقل تواً إلى إشارة مختصرة للكيفية التي تعالج بها النزعة الأكسيومية هذه، نقائض نظرية المجموعات.

---

(٣٤) انظر تفاصيل في الموضوع ومناقشة كونزت لمقولات النزعة الحدسية في: نفس المرجع.

(٣٥) موي، المنطق وفلسفة العلوم، ص ١٤٢.

بالنسبة إلى أنصار الصياغة الأكسيومية فإن المجموعات لا يتم تعريفها إلا كما تعرف المجاهيل (س) التي تستعمل في أوليات النظرية، أية نظرية. تماماً كما هو الشأن في المعادلات الرياضية المتعددة المجاهيل. ومن ثمة تكون أمام مجموعات يمكن أن توضع مكان تلك المجاهيل وأمام أخرى لا تقبل ذلك.

وبناء على ذلك يرى زيرميلو Zermelo أنه من الممكن التغلب على النقائض دون التضحية بأي شيء من الرياضيات الكلاسيكية، ودون اللجوء إلى تعقيدات منطقية كما فعل راسل، خاصة عندما اضطر إلى ترقيع نزعته المنطقية بنظرية الأنماط. والوسيلة إلى ذلك هي الانطلاق من عدد من المسلمات تسمح بتحديد مفهوم المجموعة بشكل لا يسمح ببناء المجموعات المتناقضة، في الوقت الذي يتيح لنا فيه إنشاء جميع المجموعات الضرورية. **والمبدأ الأساسي الذي يجب أن نأخذه بعين الاعتبار الكامل، هو أن لا نقول بوجود «مجموعة» لمجرد أننا نعرف إحدى خصائص عناصرها. بل لا بد، علاوة على ذلك، من أن تكون جميع هذه العناصر منتمية أيضاً إلى مجموعة سبق أن تقرر وجودها.** وهكذا فالخاصية الواحدة لا تكفي وحدها في إنشاء مجموعة، بل هي تمكننا فقط، عندما نكون على معرفة بوجود مجموعة ما، من التمييز بين عناصر هذه المجموعة التي - أي العناصر - تتوفر فيها الخاصية المذكورة وبين عناصرها الأخرى التي لا تمتلك هذه الخاصية. «فكما أن الصباغة لا يمكن أن تحدث «الطخة» ملونة إلا إذا كانت هناك قطعة من القماش تقع عليها وتشكل بالنسبة إليها الحامل الذي يحملها، فكذلك لا يمكن لخاصية ما أن تنشيء مجموعة إلا إذا كانت هناك مجموعة أخرى تلعب بالنسبة إليها نفس الدور الذي تلعبه قطعة القماش بالنسبة إلى اللطخة الملونة التي تحدثها الصباغة» وبناء على ذلك فكل ما يمكنني انشاؤه بواسطة خاصية «عدم الانتماء» هو مجموعة المجموعات التي تنتمي إلى مجموعة معينة تم انشاؤها من قبل ولا تنتمي إلى نفسها. وبذلك لا أقع في التناقض: فإذا افترضت أن المجموعة الجديدة تنتمي إلى المجموعة التي تمّ انشاؤها آنفاً، وقلت عنها لا تنتمي إلى نفسها، كان معنى ذلك أنها تمتلك الخاصية المنشودة، وإذن فهي تشتمل على نفسها. أما إذا قلنا إنها تنتمي إلى نفسها فذلك يعني أنها لا تمتلك تلك الخاصية المطلوبة وإذن، فهي لا تشتمل على نفسها. أما إذا افترضنا أن المجموعة الجديدة لا تنتمي إلى المجموعة المشيّدة من قبل، ففي هذه الحالة لا تمتلك الخاصية المطلوبة، وإذن فهي لا تشتمل على نفسها، ولا يكفي أن تكون «لا تشتمل على نفسها» لكي تتوفر على الخاصية المطلوبة. هكذا يتجلّى أن الافتراض الأول هو وحده الذي يؤدي إلى تناقض، وبالتالي فإن الافتراض الثاني هو الصحيح[٣٦].

هذا، وقد سبقت الاشارة في الفصل السابق إلى أكسيوميتيك هلبر، وكيف أنه يلحّ على ضرورة الاستغناء تماماً عن معاني الأوليات واعتبارها مجرد رموز تكتسب معناها من السياق الذي توضع فيه. وقد دشّن هذا العالم الرياضي الكبير البحث في ميدان جديد، هو ميدان «ما بعد الرياضيات» Métamathématique، الشيء الذي أدّى إلى تدشين علم جديد يحمل

---

(٣٦) Combès, *Fondements des mathématiques*, p. 64.

نفس الإسم، موضوعه لا الكائنات الرياضية التي تتحدث عنها الرموز، بل الرموز والعبارات الرياضية نفسها بقطع النظر عن معناها. إن هذه الرموز والعبارات التي تنشأ للتعبير عن الكائنات الرياضية تصبح هي نفسها كائنات ذات طبيعة أصلية وجديرة بدراسة خاصة. إن علم «ما بعد الرياضيات» إذن، هو بالنسبة إلى التعبير الرياضي كنسبة الرياضيات نفسها إلى موضوعاتها. وإلى جانب علم «ما بعد الرياضيات» ـ قام بسبب الصياغة الأكسيومية للمنطق ـ علم «ما بعد المنطق» Métalogique وهو بالنسبة إلى المنطق كعلم «ما بعد الرياضيات» بالنسبة إلى الرياضيات.

* * *

وبعد، فلنختم هذا الفصل بالقول إن مشكل «نقائض نظرية المجموعات» وبكيفية عامة «أزمة أسس الرياضيات» لم يعد يطرح اليوم بنفس الحدة التي طرح بها في العقود الأولى من هذا القرن. لقد تم الآن تجاوز هذا المشكل، بفضل تقدم الأبحاث الأكسيومية التي أدت، كما رأينا، إلى قيام مبحثين جديدين، بل قل علمين جديدين: هما «ما بعد الرياضيات»، «وما بعد المنطق». وأصبحت الصياغة الأكسيومية الآن معتمدة لدى معظم الرياضيين، حتى لدى ذوي النزعة المنطقية، لتقارب النزعتين كما رأينا. أما أصحاب مدرسة بروور فهم أقلية، وعلى هامش الرياضيات الكلاسيكية.

لقد تجووزت هذه المشكلة الآن بعد أن توطّد المنهاج الأكسيومي وتحوّلت أنظار الرياضيين من «الكائنات» إلى البنيات. وقد أدّى هذا التحوّل إلى طرح مشكلة قديمة طرحاً جديداً خفّف من حدتها أيضاً، نقصد بذلك علاقة الرياضيات بالتجربة التي سنخصص لها الفصلين القادمين.

الفصل الرابع

الرياضيات والتجربة

أولاً: وضع المشكل

تطرح مسألة العلاقة بين الرياضيات والتجربة مشكلتين ابستيمولوجيتين رئيسيتين، يمكن صياغتها كما يلي:

١ ـ كيف أمكن الرياضيات، وهي العلم العقلي الخالص، العلم الذي نما وترعرع ـ منذ أن أعطاه اليونان طابعه النظري المعروف ـ بواسطة الفعالية العقلية وحدها، وفي إطار النشاط الذهني المحض، بعيداً عن التجربة ومعطياتها، أن تصبح في نهاية المطاف، الوسيلة الوحيدة، أو الأداة الفعّالة، التي تمكّننا من الكشف عن معميات التجربة، واستخلاص قوانين الطبيعة؟! كيف بعد أن انسلخ كلية عن التجربة وتحرر نهائياً من الارتباط بها، أن يصبح مع بداية العصر الحديث، اللغة الوحيدة التي تمكننا من قراءة «كتاب الطبيعة» ـ كما قال جاليلو (١٥٦٤ ـ ١٦٤٢) ـ قراءة قلبت «العلم الطبيعي» رأساً على عقب، فحوّلته من العناية بالكيفيات إلى الاهتمام بالكميات، من الانقطاع إلى دراسة الخصائص والمميزات إلى اعتماد القياس Mesure والاجراءات الحسابية، مما جعل الفيزياء الحديثة تصبح، بحق، عبارة عن «الصياغة الرياضية للطبيعة» Mathématisation de la nature لا أقل ولا أكثر؟!

٢ ـ أما المشكلة الثانية التي تطرحها علاقة الرياضيات بالتجربة، فإنها، رغم قدمها، ما زالت تستفز تفكير بعض الفلاسفة الرياضيين، خصوصاً عندما يلاحظون أن المعاني الرياضية، وهي المقطوعة الصلة تماماً عن التجربة، تفرض نفسها على الفكر كـ «كائنات» ذات «وجود» لا يقل صلابة وقوة عن وجود الأشياء المادية نفسها، وأن مقاومتها للفكر لا تقل عن مقاومة الأشياء المادية للجسد، وكما تساءل مالبرانش من قبل، وهل يستطيع الفكر أن

يغير، كما يشاء، مجموع زوايا المثلث(1).

هناك، إذن، مشكلة أخرى تطرحها مسألة العلاقة بين الرياضيات والتجربة، يمكن التعبير عنها كما يلي:

ما هو نوع «الوجود» الذي يجب أن ننسبه إلى الكائنات الرياضية؟ إن الرياضي عندما يتعامل مع الأشكال الهندسية والأعداد الحسابية والرموز الجبرية، لا يهمه المقابل المشخص لهذه الأشكال والأعداد والرموز، لأنها «أشياء» مجردة تعلو على التجربة، فلا تتغير بتغير الأشخاص والأوقات والأزمنة، بل تظل دوماً ذات خصائص مميزة مستقلة تمام الاستقلال عن تحقيقاتها المشخصة، عن التصورات والرغبات الفردية. بل إن بعض هذه «الكائنات» تبدو وكأنها من «طبيعة» مغايرة تماماً للطبيعة الحسية، خصوصاً وأنه من الصعب جداً، إن لم يكن من المستحيل، العثور على ما يقابلها في العالم الحسي، أو «صنع» تحقيقات لها على صعيد الواقع المشخص، كالأعداد التخيلية، والمنحنيات التي لا مماس لها، ومجموعة الأعداد الحسابية التي يمكن دوماً إيجاد عدد أكبر من المجموعة التي ينتمي إليها. . . الخ.

وعلى الرغم من الاختلاف الظاهري بين هاتين المشكلتين، وعلى الرغم من أنهما قد أثيرتا كلاً على حدة، فلسفياً وتاريخياً، فهما في الحقيقة والواقع مظهران فقط لمشكلة واحدة، هي مشكلة العلاقة بين الرياضيات والتجربة. فإذا تبينّا هذه العلاقة بوضوح، انهارت ـ ولا شك ـ كثير من الاعتبارات الوهمية التي تفصل بينهما، والتي كانت أساساً شيّدت عليه فلسفات ميتافيزيقية عديدة.

وقبل أن نطرح المسألة في إطار الفكر العلمي المعاصر، لا بد من إلقاء نظرة وجيزة على اطارها الفلسفي، حتى نتبين إلى أي مدى أصبحت الايبستيمولوجيا المعاصرة قادرة على تجاوز المشاكل الفلسفية التقليدية، إما بالكشف عن الأسس الواهية التي قامت عليها، أو بإعادة طرحها طرحاً علمياً سليماً.

ثانياً: النزاع بين العقليين والتجريبيين

معروف في تاريخ الفلسفة أن الفلاسفة قد انقسموا بصدد المعرفة إلى فريقين:

ـ **العقليون**، ويرون أن في العقل مبادىء سابقة على التجربة، بواسطتها يستطيع اكتساب المعرفة عن العالم الخارجي، بل هو يفرض عليه مبادئه وقوانينه. والمعرفة العقلية في نظرهم، هي وحدها المعرفة الحق لأنها تتصف بثلاث خصال أساسية. فهي من جهة معرفة مطلقة Absolue بمعنى أنها ثابتة لا تتغير بتغير الزمان والمكان، وهي من جهة ثانية ضرورة

(1) يلاحظ هنا أن الصياغة الأكسيومية للهندسة قد بينت فعلاً أن زوايا المثلث يمكن أن تساوي ١٨٠ درجة أو أقل أو أكثر، كما رأينا قبل عند حديثنا عن الهندسات اللاأوقليدية، الشيء الذي كان يجهله مالبرانش. ومن هنا تلمس أهمية المساهمة التي بإمكان المنهج الأكسيومي أن يقدمها من أجل هذه المشكلة. وهي مساهمة ستتبين لنا بعض معالمها في الفقرات الأخيرة من هذا الفصل والفصل القادم.

Necessaire بمعنى أنها واضحة بذاتها وتفرض نفسها بشكل حتمي، فالضروري هنا في مقابل الاحتمالي، وأخيراً فهي كلية Universelle بمعنى أنها عامة مشتركة بين الناس جميعاً.

وإذا تصفّحنا معارفنا ـ أو أحكامنا ـ العقلية فإننا سنجد أن الأحكام ـ أو القضايا ـ الرياضية هي التي تتجلّى فيها أكثر من غيرها المميزات أو الشروط المذكورة. فالمعرفة الرياضية مطلقة وضرورية وكلية في آن واحد، ولذلك كانت نموذجاً للمعرفة اليقينية، ومن أجل هذا أيضاً نجد الفلاسفة العقليين (أمثال ديكارت وسبينوزا وليبنز) يدعون إلى ضرورة اصطناع المنهج الرياضي في الأبحاث الفلسفية، إذا ما أريد لها أن تتوصل إلى معارف يقينية، يقين المعارف الرياضية. وإذا كان العقليون عموماً يسلمون بأن الحس والتجربة يمدانا بقسم كبير من المعارف التي تتوفر عليها، خاصة تلك المتعلقة بالعالم الخارجي، فإنهم يعتبرونها معارف جزئية غير يقينية تحتاج في صدقها ويقينها إلى تزكية العقل، أي إلى تلك المبادىء القبلية السابقة عن التجربة التي يتوفر عليها، وتشكل طبيعته الخاصة. ولكنهم عندما تطرح عليهم مشكلة انطباق أحكام العقل، وعلى رأسها الحقائق الرياضية، وهي كما وصفناها، على معطيات التجربة، وهي المتغيرة الجزئية، المتراكمة بعضها ازاء بعض، لا يجدون مخرجاً إلاّ بافتراض نوع من الوساطة الإلهية، فيقولون مثلاً، إن الله قد خلق العالم وأبدع نظامه بكيفية تجعله قابلاً لأن تنطبق عليه أفكارنا العقلية القبلية، التي مصدرها الحقائق الأبدية النابعة من العقل الإلهي نفسه، الشيء الذي ينحل في الأخير إلى فكرة أن الرياضيات تنطبق على التجربة لأنهما من مصدر واحد هو الله.

ـ وأما التجريبيون، ومعظمهم فلاسفة انكليزيون (لوك، هيوم، جون ستوارت ميل) فهم يرفضون وجهة نظر العقليين تماما ويعارضونها بشدّة. إنهم ينطلقون من مبدأ أساسي، وهو أن جميع أنواع المعارف التي لدينا مستقاة من الحس والتجربة، وأنه ليس ثمة في العقل إلاّ ما تمده به المعطيات الحسية. ولذلك فجميع أفكارنا يمكن أن تحلل ـ في نظرهم ـ إلى مدركات بسيطة مستمدة من التجربة، والقضايا الرياضية التي يتخذ منها العقليون حجة لهم ليست، في نظر جون ستيوارت ميل، سوى تعميمات تجريبية، مثلها مثل باقي الأفكار المجردة. على أن منهم ـ ويتعلق الأمر هنا بالتجريبية الحديثة، أو التجريبية المنطقية ـ من يرى أن القضايا والأفكار التي لا تستمد من التجربة ليست سوى عبارات فارغة من المعنى، كما شرحنا ذلك آنفاً[٢]. أما القضايا الرياضية فهي لا تعدو أن تكون قضايا تكرارية أي مجرد تحصيل الحاصل، كما سترى بعد ذلك.

ثالثاً: كانت، ومحاولته النقدية

لقد حاول كانت بمذهبه النقدي أن يحسم النزاع بين العقليين والتجريبيين، ويجمع بين المظهر الحسي والمظهر العقلي في المعرفة، بواسطة ما أسماه بـ «القضايا التركيبية القبلية»، متخذاً من الرياضيات والطبيعيات أساساً لنظريته.

---

(٢) انظر المدخل العام، فقرة: الوضعية الجديدة.

يلاحظ كانت باديء ذي بدء أن الأحكام والقضايا صنفان: تحليلية وتركيبية.

الأحكام التحليلية هي التي ينتمي محمولها إلى موضوعها، بحيث يتضمن المفهوم العام للموضوع محتوى المحمول، فيرتبط هذا بذاك ارتباط مطابقة وفقاً لمبدأ الهوية. ولذلك كانت هذه الأحكام أحكاماً توضيحية، فهي لا تضيف إلى الموضوع أي جديد بواسطة المحمول، بل تقتصر على تحليله، أي على تجزئته إلى المفاهيم الجزئية التي كانت تدرك داخله ولو بشكل غامض. فالقضية القائلة مثلاً «كل جسم ممتد» قضية تحليلية، بمعنى أن المحمول «ممتد» متضمن في الموضوع «جسم»، لأن الامتداد ليس شيئاً آخر سوى مجرد تحليل لتصور الجسم، وبالتالي فنحن غير محتاجين للبحث خارج مفهوم «الجسم» لكي نجد معنى «الامتداد».

وأما الأحكام التركيبية فهي التي يضيف محمولها إلى موضوعها معنى جديداً لم يكن يشتمل عليه، وبالتالي لا يمكن استخلاصه منه بالتحليل. فالقضية القائلة مثلاً «كل جسم ثقيل» قضية تركيبية لأن المحمول فيها «الثقل ـ الوزن» متميز عن الموضوع، ولا يمكن استنتاجه منه بالفعل، كما هو الشأن في «الامتداد» بل نحصل عليه باللجوء إلى التجربة. إن الخبرة الحسية هي التي تدلني على أن الوزن مرتبط دوماً بالأجسام، أي بكل ما هو ممتد وله شكل.

وخلافاً للعقليين الذين يرون أن الضرورة التي تنطوي عليها القضايا الرياضية راجعة إلى كونها قضايا تحليلية بالمعنى الذي شرحناه، وخلافاً للتجريبيين الذين أرجعوا العالم إلى الأحكام التركيبية، لكون العقل في نظرهم لا يستطيع أن يوجد بين مدركين إلّا بعد أن يكون قد لاحظ ارتباطهما في التجربة، والذين لم يستطيعوا تبعاً لذلك أن يتبينوا ما في الأحكام التركيبية هذه من ضرورة، لكونهم يجعلون من التجربة المصدر الوحيد للمعرفة، والتجربة كما نعلم لا تتضمن أية ضرورة، بل كل ما هناك أنها تقدم الوقائع بعضها بإزاء بعض... خلافاً لهؤلاء وأولئك يرى كانت أن الأحكام العلمية ـ وعلى رأسها القضايا الرياضية ـ تجمع بين مزايا ـ أو مميزات ـ الأحكام التحليلية والأحكام التركيبية. ولذلك كانت أحكاماً تركيبية قبلية، لا مجرد أحكام تحليلية: هي أحكام تركيبية لأن محمولها يضيف جديداً إلى موضوعها. فإذا عرّفنا المثلث مثلاً بأنه الشكل الهندسي المحاط بثلاثة خطوط مستقيمة متقاطعة، فإننا لن نستطيع أن نصل إلى القضية القائلة: «زوايا المثلث الداخلية تساوي قائمتين»، من مجرد تحليل تصورنا للخط المستقيم والزاوية والعدد 3 (وهي عناصر تعريف المثلث). مثل هذه القضايا، إذن، قضايا تركيبية تقوم على حدس. ولكن هذا الحدس ليس حدساً تجريبياً، لأن القضية الرياضية المذكورة يقينية ومطلقة، بمعنى أن إنكارها يؤدي إلى تناقض[٣]، ولأن عالم التجربة الحسية يقتصر كما قلنا آنفاً على أن يقدم أمامنا الوقائع بعضها بجوار بعض، وبالتالي فهو لا يتضمن أي ضرورة أو يقين... وإذن، فإن الحدس الذي تقوم عليه القضايا

(٣) لنلاحظ هنا مرة أخرى أن الصياغة الأكسيومية للهندسة الأوقليدية، لا تدع مجالاً لهذا التناقض الذي يتحدث عنه «كانت»، فأنكار القضية المشار إليها وهي المتعلقة بمسلمة التوازي لا تؤدي إلى تناقض، بل إلى هندسة أخرى غير أوقليدية كما شرحنا ذلك آنفاً.

الرياضية حدس قبلي خالص. وبالتالي فإن مصدر يقينها وضرورتها هو العقل نفسه، أي قدراته القبلية.

وبما أن الهندسة علم يقوم على حدس المكان، والحساب علم يقوم على حدس الزمان، فإنه من الضروري أن يكون الزمان والمكان حدساً قبلياً، مما يجعل منهما صورتين قبليتين للحساسية. يقول كانت موضحاً هذه الفكرة الأساسية في نظريته النقدية: «بواسطة الحس الخارجي (وهو ملكة من ملكات فكرنا) تتمثل في أنفسنا، مواضيع باعتبارها خارجة عنا، وموجودة كلها في المكان، ففي هذا الأخير يتحدد، أو يمكن أن يتحدد شكلها، وطولها، وعلاقتها المتبادلة. أما الحس الداخلي الذي بواسطته يحدس الفكر ذاته، أو حالته الداخلية، فهو دون شك لا يحدس النفس ذاتها، باعتبارها موضوعاً، بل هو صورة محددة بواسطتها يصبح من الممكن حدس حالنا الداخلية، بحيث إن كل ما ينتمي إلى التحديدات الداخلية يتم تمثله حسب علاقات الزمان. إن الزمان لا يمكن أن يدرك خارجياً، مثله في ذلك مثل المكان الذي لا يمكن أن يدرك بوصفه شيئاً خارجاً عن ذواتنا».

المكان والزمان، إذن، صورتان قبليتان للحدوس التجريبية، وبعبارة أخرى أنهما صورتان أوليتان ذاتيتان تخلعهما الحساسية على المدركات الحسية، وبواسطتهما يتم ترتيب تلك المدركات في علاقات مكانية وزمانية. ذلك لأنه عندما نكون أمام شيء جزئي خارجي، تحدث فينا حدوس تجريبية، ولكن بما أن تلك الحدوس لا تتضمن الصفة الزمانية أو المكانية لذلك الشيء، بالرغم من أننا لا ندركه إلّا في علاقات زمانية مكانية، فإنه لا مفر من أن نفترض أن تلك العلاقات صادرة عنا، ومن ثمة تصبح هذه العلاقات صورتين قبليتين للحدوس التجريبية. ويبرهن كانت على كون المكان والزمان صورتين أوليتين للحساسية بعدة أمور: منها أننا لا نستطيع أن نتصور الأشياء خارجة عنا متجاورة بعضها إلى بعض ومتميزة في أماكن مختلفة إلّا على أساس فكرة سابقة للمكان، كما أننا لا نستطيع أن ندرك التآني أو التعاقب في الأشياء إلّا إذا كانت لدينا فكرة سابقة عن الزمان، وبالمقابل فإننا نستطيع أن نتصور مكاناً خلواً من الموضوعات، وزماناً خالياً من الظواهر والحوادث، في حين أننا لا نستطيع تصور موضوعات بدون مكان، ولا حوادث بدون زمان. أضف إلى ذلك أننا لا يمكن أن نتصور إلّا مكاناً واحداً وزماناً واحداً، أما حين نتحدث عن الأمكنة والأزمنة فنحن نعني بها أجزاء ذلك المكان الواحد، وأجزاء ذلك الزمان الواحد، وأيضاً لا يمكن القول إن المكان والزمان مستخلصان من التجربة لأننا نتصورهما غير متناهيين، في حين أنه لا يوجد في التجربة إلّا مقادير متناهية عن الزمان والمكان.

بهذه الطريقة يحاول كانت أن يثبت أن صدق القضايا الرياضية يقوم على أن الزمان والمكان حدسان قبليان فهي من جهة قضايا قبلية ومن هنا ضرورتها، ومن جهة أخرى هي، على عكس القضايا المنطقية ـ التحليلية المحض ـ حقائق حدسية، ومن هنا كونها تركيبية، تضيف جديداً إلى معارفنا. وبما أن هذه المعارف هي نفسها المبادىء التي تنتظم بواسطتها تجربتنا الحدسية، فإن الرياضيات، إذن، هي اللغة التي كتب بها «كتاب الطبيعة». وهكذا

بكون كانت قد جمع في القضايا الرياضية بين الضرورة العلمية التي ينادي بها العقليون، وبين أصلها الحسّي، كما يقول التجريبيون.

لقد تعرّضت نظرية كانت في الزمان والمكان لانتقادات عديدة، لا مجال لذكرها هنا. وحسبنا أن نشير فقط إلى أن ما قاله هنا إنما ينطلق فيه من مسلمات الهندسة الأوقليدية، وهي الهندسة التي توافق خبراتنا الحسية وتجاربنا المباشرة. أما في ميدان الهندسات الأخرى فإن الأمور تختلف كما رأينا من قبل. وأيضاً إن فكرة الزمان المطلق والمكان المطلق التي قال بها نيوتن والتي بنى عليها كانت نظريته هذه، فكرة أثبتت نظرية النسبية خطأها، كما سنرى في الجزء الثاني من هذا الكتاب.

رابعاً: التجريبية المنطقية والعقلانية التجريبية

لم يستطع كانت رغم الجهود الجبارة التي بذلها في كتابه «نقد العقل المجرد» أن يحل مشكلة «انطباق الرياضيات على التجربة» إلاّ في حدود الهندسة الأوقليدية كما كان ينظر إليها قبل قيام الهندسات اللاأوقليدية واعتماد الصياغة الأكسيومية. إن الأساس الذي بنى عليه كانت نظريته هو «اكتشافه» أن القضايا الهندسية قضايا تركيبية قبلية معاً، يلتحم فيها ما هو عقلي بما هو تجريبي «التحاماً لا انفصام له»، الشيء الذي جعله يقول بوجود «قوالب» عقلية تشكل الشروط الضرورية لكل معرفة.

والواقع أن انطباق الهندسة الأوقليدية على التجربة راجع فقط إلى أن هذه الهندسة كانت في آن واحد، نظرية وتطبيقية، بمعنى أنه يمكن النظر إليها إما بوصفها بناء عقلياً اكسيومياً خالصاً عزلت حدوده عن معناها الواقعي المشخص وأصبحت مسألة الصدق فيه مقصورة على الاتساق المنطقي، وإما باعتبارها تحقيقاً مشخصاً لهذا البناء الأكسيومي نفسه، وذلك عندما نعطي لحدوده وقضاياه معانيها الحسية التجريبية، وفي هذه الحالة سنكون أمام أحد علوم الواقع، أولياته ونظرياته هي نفس قوانين الواقع: القوانين الفيزيائية. وإذن، فالقضايا التركيبية القبلية التي بنى عليها كانت نظريته، ليست في واقع الأمر إلاّ تعبيراً عن انطباق الهندسة على التجربة. وبعبارة أخرى: إنها نتيجة اعطاء المدلول الحسي لحدود وقضايا اكسيوماتيك معين، هو بالضبط ذلك الذي تشكله الهندسة الأوقليدية في جانبها النظري.

إن المشكلة إذن لم تحل على صعيد الفلسفة الكانتية، وكل ما في الأمر هو أن هذه الفلسفة قد صاغت المشكلة صياغة أخرى، أو عبّرت عنها تعبيراً جديداً يحاول اخفاءها بإقامة نوع من الرابطة الضرورية بين ما هو قبلي وما هو بعدي، رابطة ما لبثت أن انحلّت عراها بفضل تقدم الرياضيات نفسها. وفعلاً، فلقد عملت الصياغة الأكسيومية للهندسة على حل مشكل الثنائية التي كانت قائمة في هذا العلم، ثنائية كونه علماً عقلياً يخضع في نتائجه وعملياته الاستدلالية لقواعد المنطق وحدها، وينطبق في الوقت ذاته على التجربة، على الواقع المشخص. لقد تمّ الفصل، بفضل الصياغة الأكسيومية، بين الجانب النظري (ما هو

منطقي) والجانب التطبيقي (ما هو حدسي) في الهندسة الأوقليدية. وأصبح الجانبان اليوم عبارة عن علمين مختلفين تماماً، أحدهما مجرد كالمنطق تماماً (الهندسة النظرية) والآخر مشخص كالفيزياء والميكانيك (الهندسة التطبيقية)، الشيء الذي دفع بعدد من الفلاسفة التجريبيين في القرن العشرين إلى الفصل نهائياً في العلوم بين مجموعتين مختلفتين: العلوم المنطقية الرياضية، وهي محض صورية، فارغة من كل دلالة موضوعية، والعلوم الأخرى، علوم الطبيعة والانسان، علوم الواقع المشخص، علوم التجربة.

تلك هي وجهة نظر التجريبية المنطقية التي تعتبر القضايا المنطقية والرياضية قضايا تحليلية «تكرارية» أي عبارة فقط عن «تحصيل الحاصل» وذلك في مقابل القضايا التركيبية التي تمدنا بمعرفة عن الواقع، والتي يمكن وصفها بأنها قضية «اخبارية».

إن القضايا الأولى لا تقدم لنا أي جديد بالمرّة. ولذلك كانت صالحة للانطباق على التجربة. فعندما أقول مثلاً إن 5 + 7 = 12، وعندما أجد في الواقع الحسي أن خمسة أقلام مع سبعة أقلام تشكّل اثني عشر قلماً، فليس ذلك راجعاً إلى كون الطبيعة تخضع للعقل، أو لأن الأمر يتعلق بمجرد صدفة، بل إن الأمر كله راجع إلى أني أفعل نفس الشيء عندما أقول 5 + 7 وأقول 12. إن المواضعة اللغوية هي التي دفعتني إلى ذلك، وبعبارة أخرى إن كل ما في الأمر هو أننا قد اتفقنا على أن يكون اللفظان أو الرمزان 5 + 7 من جهة، و12 من جهة أخرى بمعنى واحد بحكم تعريفنا لها. وإذن فإن مصدر اليقين في الرياضيات راجع إلى أنها لا تخبرنا بشيء جديد، وإنما تجعلنا نكرر نفس الشيء.

على أن الفصل بين ما هو منطقي وما هو حدسي، تجريبي، لم يعد خاصاً بالهندسة وحدها، فالصياغة الأكسيومية أخذت الآن تكتسح جميع العلوم التي وصلت درجة معينة من التجريد، كما بيّنا آنفاً: الرياضيات والمنطق أولاً، ثم الميكانيك والفيزياء ثانياً. وبعبارة أخرى، إن الصياغة الأكسيومية (أي الفصل بين ما هو مجرد وما هو مشخص) قد عممت الآن على جميع العلوم التي أصبحت قابلة لأن تصاغ وتنظم بشكل استنتاجي، الشيء الذي جعل بالإمكان التمييز، لا بين العلوم المجردة والعلوم المشخصة، كما فعلت التجريبية المنطقية، بل بين الناحية النظرية الأكسيومية، والناحية التطبيقية والتجريبية، في مختلف العلوم.

والواقع انه ليست هناك علوم مجردة، وأخرى مشخصة، بل كل ما هناك هو وجود درجات متفاوتة في التجريد. وبالتالي فإن كل علم يمكن أن ينظر إليه من ناحيتين أو زاويتين: زاوية منطقية صورية، وزاوية مشخصة تجريبية، فالرياضيات مثلاً، يمكن أن «تقرأ» على مستويين: مستوى اكسيومي تجريدي صوري، ومستوى تجريبي، مستوى الواقع المشخص، وكذلك الشأن في الفيزياء والميكانيك، وإلى حد ما في العلوم الأخرى التي لم تبلغ درجة عالية من التقدم.

واضح أنه عندما نطرح المسألة على هذا الشكل، فإننا لن نكون أمام مسألة «انطباق الرياضيات على التجربة» وحسب، بل أمام مشكلة أعم، هي مشكلة العلاقة بين المجرد

والمشخص بكيفية عامة، وهي مشكلة بحثها العالم الرياضي السويسري فرديناند كونزت (مولود ١٨٩٠) F. Gonseth على ضوء بعض النتائج الابيستيمولوجية، التي أسفرت عنها الفيزياء الحديثة (الميكروفيزياء)[4].

يرى كونزت أن الصورية المحض لا وجود لها، إذ «في كل بناء تجريدي يوجد راسب حدسي يستحيل محوه وإزالته» ذلك لأن المعرفة البشرية لا تعرف لحظة الصفر، فالإنسان العارف هو انسان له ماض معرفي، منه يستقي الوسائل والأدوات التي يستعملها في المعرفة. نعم إن الفكر ينشىء المفاهيم المجردة، ولكنه لا يقف عندها، بل يعمل باستمرار على إعطائها تحقيقات مشخصة أكثر مرونة من تلك التي استقاها منها، تحقيقات جديدة يشتق منها تجريدات جديدة، مستعيناً في ذلك بالرموز. وهكذا فليست هناك معرفة تجريبية محض، وأخرى عقلية محض، بل كل ما هناك أن أحد الجانبين، العقلي والتجريبي، قد يطغى على الآخر، ولكن دون أن يلغيه تماماً، فالفكر، أي فكر، هو دوماً مشخص ومجرد: في كل معرفة عقلية يوجد راسب تجريبي، كما أن في كل معرفة تجريبية يوجد عنصر نظري.

وهكذا فالفكر الرياضي يستمد أصوله من التجربة الحسية، وانطلاقاً من هذه التجربة يعمل على صياغة أفكار مجردة، ثم يرتفع بها درجة أعلى من التجريد، ويستبدلها برموز اصطلاحية. وبواسطة هذه الرموز يبني الرياضي عالماً ذهنياً جديداً، يحاول التخلص فيه من التجربة بواسطة الصياغة الأكسيومية. ولكنه، مع ذلك، لا يستطيع، ولن يستطيع التخلص منها نهائياً، لأن في كل بناء مجرد يوجد راسب حدسي لا يمكن الغاؤه تماماً. ففكرة التساوي مثلاً لا يمكن فهمها وإدراكها ما لم يكن هناك رجوع ذهني - ولو بشكل غامض - إلى الأشياء الحسية التي أدركناها متساوية.

وبناء على ذلك فإنه سيكون من غير المشروع تماماً، الفصل بين الرياضيات والفيزياء، باعتبار أن الأولى محض عقلية، والثانية تجريبية. إن العالم الرياضي يقوم هو الآخر بتجارب ذهنية، تارة بكيفية صريحة، وذلك حينما يقوم بتركيب الأشكال الهندسية، وأحياناً كثيرة بكيفية ضمنية وذلك بواسطة رموز تبدو بعيدة كل البعد عن التجربة، ولكنها في الحقيقة لا معنى لها إلا بفضل ماض من التجربة المكررة المعادة. يقول كونزت «هناك رابطة تربط المنظر بالمجرب، رابطة قد تنحل قليلاً أو كثيراً، ولكنها لا تزول نهائياً. إن البحث العلمي لا يتم على مستويين مستقلين، أحدهما عن الآخر، مستوى نظري أو رياضي، لا علاقة له بالعالم الحسي، ومستوى تجريبي تؤخذ فيه الوقائع بكيفية مباشرة. إن الأمر هو بالعكس من ذلك تماماً: فالملاحظ لا يلاحظ إلا انطلاقاً من فكرة ما، والبناءات التجريدية الرياضية إنما تكتسب الفعالية والانسجام من أسسها الحسية. إن الانسان يكتسب المعرفة بواسطة عملية متصلة من التشابك والتداخل بين الفعل والنظر، وبالتالي فإن البحث العلمي يتأرجح دوماً

(٤) انظر: Ferdinand Gonseth, *Les Mathématiques et la réalité* (Paris: A. Blanchard, [s.d.]).

بين هذين القطبين اللذين لا يمكن تصور أحدهما دون الآخر، النظر العقلي من جهة، والتجربة من جهة أخرى[٥].

والمنطق مثله في ذلك مثل الرياضيات وباقي العلوم الأخرى فهو قد تشكّل بالمرور بنفس المراحل التي مرّت بها الرياضيات والعلوم التجريبية. «إن قواعد المنطق - كما يقول ديتوش Destouche - تشتق من القوانين الوجودية للموضوعات المستعملة»، فهو علم تجريبي وضعي، يعبر عن قوانين الحوادث مثله مثل الفيزياء، ولكنه يعنى بالقوانين الأكثر عمومية من تلك التي تعنى بها الفيزياء. إنه حسب عبارة مشهورة لكونزث «فيزياء موضوع ما» La physique de l'objet quelconque وبالتالي فإن الصياغة الأكسيومية التامة مستحيلة سواء في المنطق أو في الرياضيات، فهناك دوماً راسب من التجربة المشخصة. وكل ما في الأمر هو أن المبادىء التي نستقيها من التجربة، نجري عليها عمليات متصاعدة من التجريد، لنبني منظومات منطقية تختلف عن تلك التي توجد في التجربة وهكذا يصبح في إمكاننا إنشاء أنواع من المنطق، مثلما أن هناك أنواعاً من اللغات. إن المنطق الأرسطي - مثله مثل الهندسة الأوقليدية - يكفي في ميدان الواقع الذي نعيش فيه، لأن قوانينه استخرجت من هذا الواقع نفسه. وهو، لذلك، ليس تام الصورية، لأنه لا يقدم لنا قوانين للفكر مستقلة عن المحتوى استقلالاً تاماً، وبالتالي فهو لا يكفي في عالم آخر، كالعالم الميكروفيزيائي الذي يتطلب منطقاً آخر يتلاءم معه، تماماً مثلما أن اللغة العربية تكفي في مجال الوطن العربي، ولكن عند الانتقال إلى أوروبا مثلاً يصبح من الضروري معرفة لغة أخرى.

من الواضح هنا أن كونزث وديتوش قد استوحيا نظريتهما حول المعرفة عموماً، وعلاقة الرياضيات بالتجربة خصوصاً (أو المجرد بالمشخص) من كشوف الفيزياء الحديثة، خاصة منها تلك التي تتعلق بالنظرية الكوانتية، مما يدل دلالة واضحة على أن الحلول التي تعطى لمشاكل المعرفة تستوحى دوماً من المعطيات العلمية القائمة، ومن الآفاق التي تفتحها أمام الباحثين.

خامساً: موقف المادية الجدلية

وهكذا فنظرية التجريبيين التقليديين (لوك، هيوم، ستوارت ميل) في المعرفة الرياضية مستوحاة، بل مرتبطة ارتباطاً عضوياً، بعلم النفس الترابطي الذي قال به هؤلاء، كما أن نظرية العقليين الكلاسيكيين (ديكارت، سبينوزا، ليبنز) مرتبطة هي الأخرى بعلم النفس الفلسفي الذي أرسى دعائمه ديكارت حينما فصل فصلاً تاماً بين النفس والبدن، بين الفكر والامتداد... وكذلك الشأن في ما يتعلق بنظرية «كانت» التي قلنا قبل إنها مستوحاة من فيزياء نيوتن، وتجريبية هيوم، وعقلانية ليبنز.

---

(٥) انظر أيضاً: Ferdinand Gonseth, *Les Fondements des mathématiques de la géométrie d'Euclide à la relativité générale et à l'intuitionisme*, préface de Jacques Hadamard (Paris: A. Blanchard, 1926; 1974).

كل ذلك يؤكد الحقيقة التالية التي نادت بها الماركسية، وهي أن المعرفة هي دوماً ذات طبيعة تاريخية. وهي نفس الحقيقة التي بنى عليها هيغل فلسفته. يقول لينين: «في الأساس، الحق كله إلى جانب هيغل ضد كانت، فالفكر إذ يرتفع من الملموس إلى المجرد، لا يبتعد أبداً، إذا كان صحيحاً، عن الحقيقة، بل يقترب منها... والتجريدات العلمية الصحيحة كلها تعكس الطبيعة بعمق أكبر، وبصدق أكثر، وبصورة أكمل. فمن التأمل الحي إلى الفكر المجرد، ومن الفكر المجرد إلى الممارسة العملية، ذلك هو المسار الديالكتيكي لمعرفة الصحيح، لمعرفة الحقيقة الموضوعية»[٦].

في إطار هذا المنظور تعالج المادية الجدلية العلاقة بين الرياضيات والتجربة، وهي علاقة شرحها انغلز بوضوح في فقرات من كتابه «ضد دوهرنغ». يقول انغلز: «مضبوط بالتأكيد أن الرياضيات المحض صحيحة باستقلال عن التجربة الخاصة بكل فرد، وهذا مضبوط بالنسبة إلى جميع الوقائع المقررة في جميع العلوم، وبالنسبة إلى جميع الوقائع على العموم... ولكن ليس صحيحاً قط أن العقل، في الرياضيات المحض، يشتغل حصراً بمخلوقاته وتخيلاته الخاصة. فالتصورات عن العدد والصورة (الشكل) لم تأت من أي مكان خارج عن العالم الواقعي، إن الأصابع العشرة التي تعلم عليها الناس العد، وبالتالي تعلّموا القيام بأول عملية حسابية هي كل ما تريد، اللهم إلا أن تكون ابتداعاً حراً من العقل. ومن أجل العد لا يكفي أن تكون ثمة أشياء تعد، لا بد أيضاً أن تكون ثمة القدرة على النظر إلى الأشياء بصرف النظر عن جميع صفاتها الأخرى خلا عددها، وهذه القدرة هي نتيجة تطور تاريخي طويل، قائم على أساس التجربة وفكرة الصورة (أو الشكل) مثل فكرة العدد، مأخوذة حصراً عن العالم الخارجي ومنبثقة عن الدماغ كنتاج للفكر المحض. لقد كان لا بد من وجود أشياء ذات صورة قورنت بها الصور قبل أن يستطاع الوصول إلى فكرة الصورة. وموضوع الرياضيات المحض هو الأشكال المساحية والنسب الكمية للعالم الواقعي، وإذن فهي مادة جد مشخصة. وكون هذه المادة تظهر بشكل مجرد للغاية لا يمكن أن يسدل ستاراً سطحياً على منشئها القائم في العالم الخارجي. وحتى إذا كانت المقادير الرياضية تستخرج، ظاهرياً، بعضها من بعض، فليس هذا برهاناً على منشئها القبلي، إنما يبرز فقط تسلسلها العقلاني... إن الرياضيات كجميع العلوم الأخرى منبعثة من حاجات الناس، من مسح الأراضي وقياس استيعاب الأواني، ومن التاريخ والميكانيك، ولكن كما هي الحال في جميع ميادين الفكر الأخرى، في درجة ما من التطور، فإن القوانين المستخلصة تجريدياً من العالم الواقعي تكون منفصلة عن العالم الواقعي، وتجابهه كشيء مستقل، كقوانين آتية من الخارج لا بد للعالم أن يكون متماشياً معها. هكذا جرت الأمور في المجتمع والدولة، هكذا، لا بصورة أخرى، تطبق الرياضيات المحض، بعد فوات الأوان، على العالم، برغم أنها

---

(٦) ذكر في: روجيه غارودي، النظرية المادية في المعرفة، ترجمة ابراهيم قريط (دمشق: دار دمشق للطباعة والنشر، [د. ت.])، ص ٣١٢.

مستخلصة منه بالضبط ولا تمثل غير قسم من الأشكال التي يتكوّن منها، وهذا هو السبب الوحيد في كونها قابلة للتطبيق»[7].

هذه النظرة الديالكتيكية لمسألة المعرفة، ومن ضمنها مسألة العلاقة بين الرياضيات والتجربة، والقائمة على اعتبار الانسان كائناً فاعلاً، لا مجرد منفعل، كما تصور التجريبيون، أو خالقاً (للأفكار، بل حتى الأشياء نفسها) كما تصور العقلانيون والمثاليون، هي نفسها التي سيؤكدها علم نفس حديث، هو السيكولوجية التوليدية، التي بنى عليها جان بياجي نظريته في المعرفة، التي دعاها «الابستيمولوجيا التوليدية» Epistémologie génétique، والتي جاءت متفقة من عدة نواح مع المنظور المادي الديالكتيكي، على الرغم من أن بياجي ليس ماركسياً.

سادساً: الابيستيمولوجيا التوليدية: التجربة ليست واحدة

ينطلق بياجي في نظريته في المعرفة، من هذه الحقيقة، وهي أن المعرفة ليست معطى نهائياً جاهزاً، بل عملية تتشكل باستمرار، ولذلك فإنه من الضروري عند دراسة أية عملية معرفية، النظر إليها من خلال نموها وتطورها لدى الطفل، وباعتبارها مظهراً من مظاهر علاقة الانسان بالعالم.

وفي نظر بياجي، فإن علاقة الانسان بالعالم، يمكن إيجازها في كلمة واحدة هي: متسلسلة من التكيّف، لا تنقطع إلاّ بانقطاع حبل الحياة فيه.

هذا شيء معروف، ولكن الجديد في نظرية بياجي، هو أنه لا ينظر إلى التكيف نظرة وحيدة الجانب، أو نظرة عامة اختزالية، غامضة، بل هو يحرص على التمييز فيه بين عنصرين متباينين، وفي الوقت ذاته مرتبطين هما: التمثل أو الاستيعاب Assimilation، والتوافق أو التلاؤم Accommodation، والتكيّف في حقيقته وجوهره هو حركة دورية مسترسلة تتم بين هذين العنصرين. وهكذا فالكائن الحي، سواء كان حيواناً أو انساناً أو جماعة، يتمثّل ويستوعب العالم المحيط بجسمه، والذي يشكل في الوقت نفسه مجالاً لفاعلياته وذكائه: يتمثّله على الصعيد الفيزيولوجي بوصفه عضوياً، وعلى صعيد النشاط العملي الحي بوصفه حيواناً، وعلى المستوى التطبيقي العقلي باعتباره انساناً. وهذا التمثّل أو الاستيعاب، هو في آن واحد، دينامي ومحافظ معاً: هو دينامي من حيث أن الذات تعمل دوماً على توسيع مجال فعاليتها وحدود استيعابها للعالم المحيط بها، وهو محافظ من حيث إن هذه الذات نفسها تحرص أشد الحرص على الحفاظ على بنيتها الداخلية حتى لا يحتويها العالم، وحتى تتمكن من أن تفرض بنيتها عليه.

---

(٧) فريدريك انجلز، نصوص مختارة، اختيار وتعليق جان كانابا؛ ترجمة وصفي البنا (دمشق: منشورات وزارة الثقافة، ١٩٧٢)، ص ١٤٠ - ١٤٢، و

Jean Piaget, *La Psychologie de l'intelligence*, collection Armand Colin, section de philosophie; no. 249 (Paris: Armand Colin, 1947).

ولكن بما أن العالم لا يقدم نفسه لقمة سائغة للذات التي تريد استيعابه، بل يعمل دوماً على مقاومة محاولة الاستيعاب هذه، فإن الذات تضطر بسبب ذلك، إلى إجراء تعديلات على فعالياتها الحركية والعقلية لتتمكن من مواجهة المشاكل الجديدة التي تعترضها، وايجاد الحلول الكفيلة بالتغلب عليها. وهكذا فالمقاومة الخارجية، مقاومة العالم للذات، هي أساس كل تقدم على صعيد الوعي، ومن ثمة يغدو الانسان في العالم، ليس ذلك المشاهد المنفعل، ولا ذلك الخالق القوي، بل الكائن الفاعل Acteur، الكائن الذي يؤثر في العالم ويغيره، وفي ذلك الوقت يعدل نفسه خلال عملية التغيير التي يقوم بها. وتلك هي عملية التلاؤم التي تشكل مع عملية التغيير التي يقوم بها. وتلك هي عملية التلاؤم التي تشكل مع عملية الاستيعاب السابقة المسار الدائري الذي تتم به ومن خلاله عملية المعرفة[8]. يقول بياجي: «على مستوى الذكاء العملي لا يفهم الطفل الظواهر (مثل العلاقات المكانية والسببية... الخ) إلاّ باستيعابها بواسطة فعاليته الحركية، لكنه لا يلبث أن يعود ليلائم بين تخطيطات هذا الاستيعاب، وبين تفاصيل الوقائع الخارجية. ولقد أوضحت مراقبة المراحل الدنيا من تفكير الطفل أن هناك دوماً اتحاداً أو التحاماً بين استيعاب الأشياء وفق فعالية الذات، وبين ملائمة بنية أفعال الذات مع التجربة. وبمقدار ما يمتزج الاستيعاب امتزاجاً أكبر مع التلاؤم، بمقدار ما يتحوّل الأول (الاستيعاب) ليصبح هو الفعالية الاستدلالية ذاتها، ويصير الثاني (التلاؤم) هو التجربة بعينها، وتصبح الوحدة المكوّنة منهما معاً، هي هذه العلاقة التي لا انفصام لها، العلاقة التي تقوم بين الاستنتاج والتجربة، والتي تشكل «جوهر» العقل»[9].

انطلاقاً من هذه الفكرة المركزية في نظرية بياجي يمكن أن نفهم التفرقة التي يقيمها هذا الأخير، عندما يبحث في العلاقة بين الرياضيات والتجربة، بين نوعين من التجربة: تجربة فيزيقية Expérience physique وهي المقصودة غالباً بكلمة «تجربة» في الاصطلاح الفلسفي القديم، والتجربة التي يسميها بياجي بـ «التجربة المنطقية الرياضية»، Expérience logico-mathématique، الأولى، تنصب على الموضوع، على الشيء المادي، وتعمل على اكتشاف خصائصه للحصول منه على فكرة مجردة. والثانية، تنصب، لا على الموضوع وخصائصه، بل على نشاط الذات وفعاليتها. إن نشاط الذات، أو الفعل الذي تقوم به، يضفي على الأشياء خصائص لم تكن تملكها بنفسها قبل أن تصبح موضوعاً للذات، خصائص جديدة تنضاف إلى خصائصها الأصلية. والتجربة المنطقية الرياضية تنصب على هذه الخصائص الجديدة، أو على الأصح، على العلاقات التي تقوم بين الخصائص، بمعنى أن المعرفة المنطقية الرياضية تستقي التجريد من نشاط الذات وفعاليتها المنصبّة على الموضوع، لا من الخصائص الفيزيقية اللازمة لهذا الموضوع.

إن الدراسات التي تستهدف فهم كيف تتشكل المفاهيم المنطقية الرياضية لدى الطفل

---

(٨) Jean Piaget, *Introduction à l'épistémologie génétique* (Paris: Presses universitaires de France, 1973), tomes I et 2.

(٩) للاطلاع على ايستيمولوجيا بياجي، انظر بكيفية خاصة: نفس المرجع.

قد أثبتت ـ يقول بياجي ـ أنه من الضروري الاعتراف بأن التجربة ضرورية لعملية التشكل هذه. فالطفل في مرحلة مبكرة من مراحل نموه العقلي لا يقبل أن أ = ج إذا كانت أ = ب وب = ج، فهو يحتاج لقبول هاته النتيجة المنطقية إلى الرجوع إلى ملاحظة المعطيات الحسية. وكذلك الشأن في ما يتعلق بكون حاصل جمع عدة عناصر مستقلاً دوماً عن الترتيب الذي يسود هذه العناصر. وهكذا فما يبدو واضحاً وبديهياً في العقل، يبدأ بأن لا يكون قابلاً للمعرفة إلا بمعونة التجربة. ومن هنا يتضح أن الرياضيات ذات أصل تجريبي تماماً، ولكن بالمفهوم الثاني للتجربة، لا بالمفهوم الأول. بمعنى أن الرياضيات ـ ومثلها المنطق ـ تستقى من التجربة التي تتخذ موضوعاً لها الخصائص والعلاقات التنظيمية التي يضفيها الفعل الانساني على الأشياء من أجل تحقيق حاجات معينة.

وهكذا فالطفل الذي يكتشف مثلاً أن كرة من الحديد لها نفس الوزن الذي لقضيب من معدن آخر، عندما يرفع الكرة والقضيب معاً بيده من أجل قياس وزنها، يقوم بتجربة فيزيقية، وبمجرد اكتشافه (تساوي وزن الكرة والقضيب) من الأشياء نفسها مستعملاً نشاطاً معيناً هو الفعل الذي يمكنه من قياس الوزن بواسطة اليد. أما حينما يعد هذا الطفل مجموعة من الأقلام ويجدها عشرة، وعندما يغير من ترتيبها مرات ومرات ويكتشف دوماً أنها تبقى عشرة، مهما غيرنا من ترتيبها، فإنه يقوم بتجربة من النوع الثاني، فهو يجرّب في الحقيقة، لا على الأقلام التي تقوم بالنسبة إليه بدور الأداة أو الوسيلة فقط، بل هو يجرب على فعله الخاص، فعل العد والترتيب.

إن هذا الفعل، فعل العد والترتيب، وبالجملة النشاط الذي بواسطته تضفي الذات نوعاً من الترتيب والنظام على الأشياء، يتميز عن التجربة الفيزيقية بخاصيتين أساسيتين:

- فمن جهة، نلاحظ أن فعالية الطفل (فعل العد والترتيب) تغني الموضوع بخصائص لم يكن يتصف بها وحده، لأن كتلة من الأقلام لا تشتمل بذاتها لا على نظام ولا على عدد. فالذات هي التي تجرد مثل هذه الخصائص (الترتيب والعد) من أفعالها الخاصة التي تنصب على الموضوع، لا من الموضوع نفسه.

- ومن جهة أخرى، نلاحظ أيضاً أن فعالية الطفل هذه، هي عملية تنظيمية للفعل، ذلك لأننا نمارس فعاليتنا على الأشياء بإدخال نوع من النظام والترتيب على أفعالنا نفسها، في حين أن قياس الوزن باليد هو فعل جزئي لا يحتاج إلى عملية التنظيم والترتيب هذه.

ويرى بياجي أن هذه العمليات التنظيمية للفعل سرعان ما تتحوّل ابتداء من السابعة والثامنة، إلى عمليات مستبطنة، عمليات ذهنية يجريها الطفل داخل نفسه دونما حاجة إلى الرجوع إلى التجربة التي تقنعه بأن عشرة أقلام هي دوماً عشرة أقلام مهما كان ترتيبها، ومهما كان الترتيب الذي نسلكه في عملية العد.

وهكذا فالقول بأن الرياضيات ذات أصل تجريبي لا يعني أنها هي والفيزياء في مستوى واحد وأنها تستقى من نوع واحد من التجربة. ذلك لأنه بدلاً من تجريد محتواها (أي

الكائنات الرياضية) من الموضوعات الخارجية كما هي، (كما هو الشأن في المعرفة التجريبية) تقوم منذ البداية، بإغناء الموضوع بروابط صادرة عن الذات، أي بجملة من الفعاليات التنظيمية التي يمارسها فعل الذات على الأشياء، ولكن لا فعالية الذات المنصبة على الموضوع، ولا كون بعض أنواع التجربة ضرورية للذات قبل أن تعرف كيف تستنتج اجرائياً، لا شيء من ذلك يمنع تلك الروابط من أن تعبر عن قدرة الذات على البناء في استقلال عن الخصائص الفيزيائية للموضوع.

إن هذا هو ما يفسّر لنا كون بعض الفاعليات التي تقوم بها الذات على الصعيد المنطقي الرياضي، يمكن أن تصبح في وقت معين، مستقلة عن التجربة، وفي غنى عن الانطباق عليها، وبالتالي يمكن أن تتحول هذه الفاعليات إلى نشاط مستبطن، إلى فعاليات تقوم بها الذات داخل نفسها، مستعملة فيها الرموز بدل الأشياء. وبعبارة أخرى إن هذا هو ما يفسر أنه ابتداء من مستوى معين، يمكن أن يتأسس منطق صرف ورياضيات محضة لا تفيد فيها التجربة شيئاً، وهذا ما يفسر كذلك كون هذا المنطق المحض وهذه الرياضيات الصرف، يصبحان قادرين على تجاوز التجربة تجاوزاً لا حدود له، لأنها غير مقيدين بالخصائص الفيزيائية للموضوع.

ولكن بما أن النشاط الانساني هو نشاط صادر عن عضوية هي جزء لا يتجزأ من العالم المادي، فإنه من اليسير علينا أن نفهم كيف يمكن أن تتقدم هذه التنظيمات الاجرائية التي تقوم بها الذات، على التجربة، وتسبقها سبقاً يمكننا من التنبؤ بالظواهر قبل حدوثها. وبالتالي يفسر لنا كيف يحصل الاتفاق بين خصائص الموضوع، واجراءات الذات، بين ما يبنيه العقل وما يقدمه الواقع.

* * *

واضح مما تقدم أننا هنا أمام حل علمي أصيل لمشكلة المعرفة، مشكلة انطباق ما هو عقلي على ما هو تجريبي. فالأفكار الفطرية التي نسبها العقليون إلى العقل، موحدين بينها وبين قوانين الطبيعة باعتبار أن مصدرهما واحد، هو الله، والقضايا التركيبية القبلية التي بناها كانت على «قوالب» عقلية فارغة تنتظم فيها وبواسطتها، التجربة، والقضايا الرياضية والمنطقية التي جعل منها التجريبيون الوضعيون مجرد تحصيل حاصل، كل ذلك ردّه بياجي إلى منبعه الحقيقي، الذي هو الإنسان باعتباره كائناً فاعلاً.

لقد ربط بياجي بين المعرفة والنشاط العملي، بين التفكير والممارسة ربطاً جدلياً محكماً، معتمداً على الدراسة العلمية لنمو المفاهيم العقلية لدى الطفل، فأدّى خدمة لا تقدر لا لنظرية المعرفة وحسب، بل أيضاً للسيكولوجيا وتطبيقاتها البيداغوجية خاصة، ولعلوم الانسان عامة.

ومع ذلك يجب أن لا نغفل الحقيقة التالية، وهي أن هذا التفسير السيكولوجي العلمي الذي أعطاه بياجي لنشوء ونمو المفاهيم العقلية ـ المنطقية منها والرياضية ـ لا يحل المشكل

الذي نحن بصدده، مشكل علاقة الرياضيات بالتجربة. إن هاهنا تقدماً في معالجة المشكل. ذلك ما لا شك فيه، ولكن المشكل يبقى مع ذلك قائماً.

وهنا يجب أن ننبه إلى أن الآراء والنظريات التي استعرضناها ابتداء من أفلاطون وأرسطو إلى كانت، والتجريبية المنطقية إلى المادية الجدلية والابستيمولوجيا التكوينية، كانت كلها تعالج مشكلة العلاقة بين الرياضيات والتجربة من الخارج، لا من داخل الرياضيات نفسها. ولذلك بقيت جميع هذه الآراء، على تفاوتها من حيث ما تتصف به من علمية تدور على هامش المشكل، أو تتجاوزها إلى مسائل ميتافيزيقية. ولذلك فإن حل هذا المشكل يتطلب معالجته من الداخل، من داخل الرياضيات نفسها... هذا ما قام به الرياضيون أنفسهم، كما سنرى في الفصل التالي.

الفصل الخامس

العقلانية المعاصرة: البنيات ونظرية الزمر

أولاً: من «الكائنات» إلى البنيات

كانت الآراء والنظريات التي عرضنا لها في الفصل السابق، حول علاقة الرياضيات بالتجربة، تعكس، تطور الرياضيات نفسها، موضوعاً ومنهاجاً، كما كانت تعكس في الوقت نفسه، تطور التصورات التي أقامها الفلاسفة لأنفسهم حول مشكلة أعم، هي مشكلة علاقة الفكر بالواقع، أي مشكلة المعرفة بمختلف أوجهها وأبعادها.

ولكي نفهم هذا التطور، ولكي نلمس عن قرب الوضع الراهن للمشكلة، لا بد من الوقوف قليلاً عند موضوع الرياضيات ومنهاجها، والتذكير بالخاصية الأساسية التي تميز الرياضيات الحديثة عن الرياضيات الكلاسيكية، وبالتالي العقلانية الحديثة عن العقلانية القديمة. إن هذا سيمكننا من فهم التصور العلمي الراهن لعلاقة الرياضيات بالتجربة، والفكر بالواقع، والوقوف على المصدر العلمي ـ غير السيكولوجي ـ الذي استقى منه بياجي نظريته التي شرحنا خطوطها العامة في آخر الفصل السابق.

وإذا نحن رجعنا إلى تطور الفكر الرياضي، كما عرضناه في الفصول السابقة، تبين لنا أن ما يميز الرياضيات الحديثة عن الرياضيات الكلاسيكية هو ذلك التصور الجديد لموضوع العلم الرياضي ومنهاجه الذي أخذ يتكوّن منذ النصف الثاني من القرن الماضي وقيام الصياغات الأكسيومية لمختلف فروع الرياضيات.

نعم لقد ظلت الرياضيات حتى منتصف القرن الماضي تدرس ما كنا نطلق عليه اسم «الكائنات الرياضية» أي الأعداد والأطوال والأشكال. وكان الرياضيون مجمعين ـ صراحة أو ضمناً ـ على أن موضوع علمهم هو هذه «الكائنات نفسها» التي كانوا يعتبرونها ذات خصائص معينة: فهي ليست من إنشاء الفكر، بل إنها معطاة لنا، تتمتع بوجود موضوعي

مستقل عن الذات العارفة، وبالتالي «تفرض» نفسها فرضاً على العقل، فليس بالإمكان تجاهلها ولا إعطاؤها خصائص أخرى غير تلك التي تتصف بها.

كان ذلك هو تصور أفلاطون للموضوعات الرياضية، التصور الذي استمده من نظريته في «المثل» والذي يدخل في إطار تمييزه العام بين العالم المعقول والعالم المحسوس، وهو نفس التصور الذي سار عليه أرسطو مع شيء من التعديل حيث قال بـ «الصور» مقابل «المثل» (المثل مفارقة للمادة، والصور ملازمة لها)، وهو نفسه ـ التصور الذي ساد في القرون الوسطى لدى كثير من «الفلاسفة» «الواقعيين» الذين كانوا يعتبرون «الكليات» أي المفاهيم العامة، ذات وجود واقعي مستقل عن كونها موضوعات للفكر (وذلك في مقابل «الاسميين» الذين كانوا يرون أن موضوعات الفكر هي مجرد ألفاظ، وأن الاسم الكلي ليس له معنى أكثر من مجموعة الأشياء التي ينطبق عليها)، وكما أشرنا إلى ذلك من قبل، فلقد كان ديكارت يعتقد بوجود أفكار أو مبادىء عقلية فطرية على رأسها «الكائنات» الرياضية نفسها، ولم يتردد باسكال في القول إن «الكائنات» الرياضية، كالمثلث مثلاً، تتمتع بوجود مستقل كوجود هذا الحجر، لأن فكرة المثلث تصدم فكره بنفس القوة التي يصدم بها الحجر جسمه، وقد كتب مالبرانش قائلاً: «وإذا فكرت في الدائرة أو العدد، في الوجود أو اللامتناهي، أو هذا الشيء المتناهي المعين، فإني أفكر في أشياء واقعية، لأنه لو كانت الدائرة التي أفكر فيها غير موجودة، فإني إذ أفكر فيها أكون أفكر في لا شيء... وإذا كانت أفكارنا أزلية أبدية، ثابتة ضرورية، فلا بد أن تكون موجودة في طبيعة ثابتة كذلك». أما ليبنز فهو يفرّق بين «حقائق العقل الأولية» و «حقائق الواقع الأولية». الأولى فطرية، ضرورية، «تنبت منا»، أي من داخلنا، دون أن يكون للمخلوقات الأخرى أي تأثير فيها أو في نفوسنا، أما الثانية فهي بعدية، ممكنة تمثل أولى التجارب التي نلتقي بها في حياتنا. أما سبينوزا، الذي بنى فلسفته بناءً هندسياً أكسيومياً، فقد كان منطلقه «وحدة الفكر والوجود»، فالفكر والامتداد حالان لهذا الوجود الواحد الموحد. أما كانت فقد شرحنا وجهة نظره بشيء من التفصيل في الفصل السابق، فالقضايا الرياضية، عنده قضايا قبلية تركيبية معاً. والمكان والزمان صورتان قبليتان للحساسية، والمقولات قبلية كذلك وهي التي تجعل المعرفة ممكنة... وقد ظل هذا التصور قائماً حتى مطلع هذا القرن: فالعالم الرياضي الفرنسي هيرميت Hermite (متوفى عام ١٩٠١) يصرح قائلاً: «أعتقد أن الأعداد ودوال التحليل ليست نتاجاً حراً لفكرنا، إني أعتقد أنها توجد خارجنا، وأنها تتصف بـ طابع الضرورة، مثلها مثل أشياء الواقع الموضوعي، ونحن نصادفها ونكتشفها وندرسها كما يفعل الفيزيائيون والكيميائيون وعلماء النبات...». وكان برانشفيك (متوفى عام ١٩٤٤) صاحب الكتاب القيّم مراحل الفلسفة الرياضية يعتقد أن عالم الظواهر تنظمه القوانين الرياضية، مما يجعله خاضعاً للعقل.

مما تقدم نلاحظ أنه كان هناك دوماً، لدى الفلاسفة العقلانيين، اعتقاد بوجود محتوى خاص بالعقل (وتلك الخاصية المميزة للعقلانية الكلاسيكية)، وأن النموذج الواضح لهذا «المحتوى» العقلي الخالص، هو «الكائنات» الرياضية. وقد انعكس هذا التصور لموضوع

الرياضيات على مناهجها، فكان المنهاج يقوم دوماً على نوع من الحدس، حدس هذا «المحتوى العقلي» أو تلك «الحقائق البديهية» والإسهان لمسمى واحد.

غير أن تحوّلاً كبيراً طرأ على هذا التصور، بل على العقلانية الكلاسيكية كلها، وذلك بفضل التقدم الهائل الذي عرفته العلوم الرياضية والفيزيائية منذ مطلع هذا القرن. إن العلم الحديث ـ كما يقول جان أولمو[1] ـ لا يعتقد بوجود محتوى دائم للعقل، ولا بوجود معطيات عقلية محض. إن العقل في التصور العلمي الحديث والمعاصر ليس مجموعة من المبادىء، بل هو قوة تمارس نشاطاً معيناً حسب قواعد معينة. إنه في الأساس فاعلية. ومن ثمة أصبحت العقلانية هي الاقتناع بأن النشاط العقلي يمكنه أن يبني منظومات بمقدار عدد الظواهر المختلفة. ولكي يتمكن من ذلك يجب أن يكون مجموع القواعد التي يعمل العقل وفقاً لها، مستقاة من التجربة، بمعنى أن العمليات التجريبية تترجم إلى عمليات ذهنية، عمليات تتعدل وتترابط لتشكل منظومة من القواعد المنسجمة بعضها مع بعض. وهنا يلعب النشاط العملي للإنسان، نشاطه العلمي في الطبيعة، ونشاطه الاجتماعي الاقتصادي الفكري في المجتمع[2]، الدور الأساسي. إن هذا النشاط هو الذي يمكّن الانسان من اكتساب القدرة على التجريد واستباق الحوادث وتقنينها.

غير أن هذا لا يعني أن المنظومات الفكرية التي ينشئها العقل استناداً إلى المنظومات الأولية التي يستقيها من نشاطه العملي وتجاربه في الطبيعة وحياته في المجتمع، هي دوماً منظومات مطابقة للواقع. بل قد يحدث أن يقوم الفكر ببناءات نظرية اكسيومية قد لا تنطبق على واقع معين، ولكنها تبقى صحيحة متماسكة من الناحية المنطقية. وفي هذه الحالة قد يستلزم انطباقها مع واقع ما، افتراض هذا الواقع، مثلما افترض ريمان مكاناً كروي الشكل بدلاً من المكان المستوي الذي بنى عليه أوقليدس هندسته. فالمسألة إذن هي «مسألة التقاء بين عمليات الفكر وعمليات الطبيعة لا مسألة مطابقة» (كان التعريف السائد للحقيقة هو مطابقة الفكر للواقع). إن فكرة «سبق الانسجام» بين الرياضيات والواقع التجريبي فكرة مثالية طموحة، وكان لا بد من طرحها والتخلي عنها عندما فقد الحدس امتيازه ـ الحدس الذي كان ينظر إليه كضامن لاتساق معطيات التجربة مع محتوى الفكر ـ وعندما أدّى تعدّد المنظومات الأكسيومية إلى الإطاحة بذلك الامتياز الذي كان يتمتع به الرياضيون والذي كان يمكنهم من تحديد «حقيقة» وحيدة يميلون إلى اسقاطها على العالم[3].

- هنا يتضح لنا ذلك الانقلاب الذي أحدثته الصياغة الأكسيومية للرياضيات. فلم تعد هذه قائمة على الحدس، بل على منهج فرض استنتاجي ينطلق من فرضيات توضع

---

(١) Jean Ullmo, *La Pensée scientifique moderne,* préface de Louis Armand, science de la nature (Paris: Flammarion, 1969), pp. 253-254.

(٢) يقتصر جان أولمو على «العلاقات القابلة للتكرار» في ميدان العلوم التجريبية. وقد عممنا نحن ذلك لأن النشاط العملي للإنسان تصحبه دوماً علاقات قابلة للتكرار كما سنرى بعد قليل.

(٣) نفس المرجع، ص ٢٥٤ ـ ٢٥٥.

وضعـاً[1]. ولم يعد مـوضـوعهـا هو تلك «الكـائنات» الـذهنية، بـل أصبح مـوضـوعهـا ـ أي الرياضيات ـ منظومات من العلاقات التي ينسجها المنهج على الأوليات. وكما أكـدنا ذلـك من قبـل، لقد تحـوّل الاهتمام من الأوليـات إلى الدور الـذي تلعبـه هـذه الأوليـات في البنـاءات الأكـسيومية، لقد تخلّت الرياضيـات نهائيـاً عن ميتافيـزيقا الهـوية و«الشيء في ذاتـه». ولم يعد هناك أي امتياز للموضوعات التي تجري عليها العمليات الرياضية، فلتكن هذه المـوضوعـات أيّاً كانت، فموضوع الرياضيات لم يعد هذه «الموضوعات» بل الاجراءات والعمليات نفسها. وهكذا أصبحت الرياضيـات تعتبر اليوم كنظرية في «بنيات» من أنواع مختلفة[5]، وعلى رأسهـا ما يعرف بـ «البنيـات الأولية» Structures élémentaires أو «البنيـات الأم» Structures mères كما سنشرح ذلك في الفقرة التالية.

ثانياً: البنية والزمرة

لننظر إلى مجموعة من العناصر، كيفما كانت (أقلام مثلاً). فمن الواضح أننـا نستطيـع أن نجري عليها أنواعاً من العمليـات والتأليفـات: يمكن أن نجمع أصنـافاً منهـا إلى أصنـاف أخرى حسـب اللون مثلاً، أو نرتبـها حسـب طولها، أو حسـب درجة الإشبـاع في لـونها، أو نبني بواسطتها شكلاً معيناً: اسطوانة (رزمة) أو هرماً (خيمة) أو مضلعاً منتظماً (بيت...) إلى غير ذلك من عمليات التأليف أو التركيب، ومثل ذلك نستطيع أن نفعله بمجموعة من الحروف الهجائية، فبإمكاننا أن نركبهـا ونؤلف بينها، فنصنـع منها كلمات وعبـارات. هذا النـوع من العمليات هو ما نطلق عليه، فيما يـلي اسم «التأليف» أو «التـركيب» Composition. وواضح أن هناك دوماً قاعدة أو جملة قواعد نراعيها عند تركيب عنـاصر مجموعـة ما. فنحن نـركب الحروف العربية وفق قواعد معينة، كما نركب لعب الأطفـال ولعب الكبار ـ مثـل الشطرنـج ـ وفق قواعد معينة كذلك. ونفس الشيء نفعله بالنسـبة إلى الأعداد الحسابية، فنحن نؤلف بينها وفق قواعد متفق عليها (الجمع، الطرح، القسـمة، الضرب... الخ) مثل هذه القواعد التي تخضع لها عمليات التأليف المذكورة هي ما سنطلق عليـه فيما يـلي اسـم «قواعـد ـ أو قوانـين ـ التركيـب».

لننظر الآن إلى لعبة الشطرنج، وهي مكوّنة من رقعة رسمت فيها مربعات، ومن قطع توضع على تلك المربعات، بشكل معلوم، وتجري عليها جملة من عمليـات التحويـل حسب قواعد مضبـوطة هي «قـواعد اللعب» أو «قـوانين التـركيب». وواضح أن كـل عملية تحـويل نجريها على قطع اللعبـة تنتج منهـا شبكة من العـلاقات تـربط بين تلك القـطع، ومن هـذه العلاقات تستمد قطع الشطرنج أثناء اللعب أهميتها. فالمهم بالنسبـة إلى اللاعب، ليس نـوع القطع، ولا قوتها الاصطلاحية (الفرس أقوى عادة من البيـدق)، بل المهم هـو الدور الـذي

---

(٤) انظر الفصل الثاني من هذا الكتاب بعنوان: «خصائص الأكسيوماتيك».

(٥) A. Lichenerowicz, «Remarque sur les mathématiques et la réalité,» dans: *Logique et connaissance*, sous la direction de Jean Piaget (Paris: Gallimard, 1967), pp. 477-479.

تلعبه هذه القطعة أو تلك خلال فترة ما من فترات اللعب، وهو دور تستمده لا من ذاتها، بل من موقعها في شبكة العلاقات القائمة، وهكذا قد يكون البيدق في بعض فترات اللعب أقوى من الفرس أو القلعة.

اللاعب، إذن، لا تهمه القطع في ذاتها، بل شبكة العلاقات القائمة بينها، وذلك إلى درجة أنه «لا يرى» القطع، بل العلاقات فقط، علاقات منظمة متشابكة يحكمها قانون تركيب معين. وعندما نكون أمام منظومة من العلاقات، من هذا النوع، نكون أمام بنية Structure. فالبنية، إذن هي «منظومة من العلاقات الثابتة في إطار بعض التحوّلات»، منظومة يغض الطرف فيها عن العناصر المكوّنة لها (قطع الشطرنج) وتحتفظ بنفسها على كيانها الخاص (لوجود قانون يحكمها، فعدم احترام قواعد اللعب يفسد اللعبة) وتغتني بما يجري فيها من التحوّلات (تزداد العلاقات بين قطع الشطرنج، خلال اللعب، تشابكاً و«تأزماً» مما يثير اعجاب المتفرج ولذة اللاعب)، ودون أن يستلزم الأمر الخروج من حدودها (حدود اللعبة وقواعدها) أو اضافة أي عنصر جديد إلى عناصرها (قطع الشطرنج معلومة محدودة فلا اضافة).

وهكذا فقطع الشطرنج تبقى مجرد مجموعة من العناصر، ما دامت في صندوقها، أو ملقاة على الطاولة، دون ترتيب أو نظام، ولكن بمجرد ما نرتب تلك القطع حسب قوانين معينة - أي بمجرد ما نركبها حسب قوانين التركيب - تصبح أمام مجموعة من العناصر تمتلك بنية. فالذي يميز البنية عن المجموعة هو قانون - أو قوانين - للتركيب. ذلك هو تعريف البنية، وتلك هي خاصيتها الأساسية.

ولكي نزيد الأمر وضوحاً، ولكي نتمكن من الانتقال من مفهوم البنية إلى مفهوم الزمرة Groupe، نتأمل المثال التالي:

لدينا مجموعة مكوّنة من الأعداد التالية كعناصر: (7, 2, 5). واضح أنه بإمكاننا أن نركّب هذه العناصر، ونربط بعضها ببعض بأشكال مختلفة: مرّة هكذا: $5 + 2 = 7$ أو $2 + 5 = 7$. ومرّة هكذا: $7 - 2 = 5$، أو $7 - 5 = 2$.

لننظر الآن إلى عمليات الربط والتركيب التي قمنا بها، ولنلاحظ:

- إننا لم نخرج قط عن عناصر المجموعة. لقد «لعبنا» فقط بـ 5, 2, 7.

- إننا أجرينا جملة من التحوّلات أو الاجراءات (وهذا معنى اللعب)، فربطنا عنصرين بعلامة زائد أو بعلامة ناقص، ثم ربطناهما معاً مع العنصر الثالث بعلامة التساوي، فحصلنا بذلك على منظومة من العلاقات بقيت ثابتة في كل حالة (حالة الجمع من جهة، وحالة الطرح من جهة أخرى)، وقد اغتنت تلك المنظومة بتلك التحوّلات (مثلاً العلاقة بين: $5 + 2 = 7$ و$2 + 5 = 7$، علاقة ثابتة ولو أنها خضعت لتحول أغناها وجعلها أكثر خصوبة لأننا نتبين من ذلك علاقة ثالثة وهي: $5 + 2 = 2 + 5$).

ـ إن هذه التحولات خاضعة لقانون للتركيب معين، هو قانون الجمع أو الطرح (فلا يمكن أن نكتب مثلاً: 5 = 2 + 7).

وإذن، فالعلاقة القائمة بين عناصر المجموعة المذكورة تشكل بنية.

ليس هذا وحسب، بل هناك أمور أخرى يمكن ملاحظتها بسهولة، وهي:

١ ـ إن تركيب عنصرين في المجموعة يعطينا حاصلاً Produit معيناً، يكون دوماً عنصراً من نفس المجموعة. فتركيب 2 مع 5 يعطينا ـ في حالة الجمع ـ العنصر الثالث: 7. وكذلك الشأن بالنسبة إلى الطرح.

٢ ـ هناك دوماً «عنصر محايد» Elément neutre إذا ركب مع عنصر آخر من المجموعة لا يحدث فيه أي تغيير. فالصفر في حالة الجمع عنصر محايد، لأن تركيبه مع أي عنصر يعطينا دوماً نفس العنصر: 5 + 0 = 5 و0 + 5 = 5. والعدد واحد عنصر محايد في عملية الضرب لأن 5 × 1 = 5، 1 × 5 = 5.

٣ ـ هناك دوماً عملية عكسية Opération inverse إذا ركبت مع العملية الأصلية كان الحاصل هو العنصر المحايد.

والعملية العكسية بالنسبة إلى الجمع هي الطرح. وهكذا فـ: + 5 − 5 = 0، و − 2 + 2 = 0 وكذلك: (+ 5 + 2) − (+ 5 + 2) = 0 إن هذه الخاصية مهمة جداً، لأنها تجعل في إمكاننا اجراء عدة عمليات ثم الرجوع مباشرة إلى نقطة الانطلاق بإجراء عملية واحدة عكسية (طريق الرجوع أقصر من طريق الذهاب).

٤ ـ وهناك دوماً امكانية لبلوغ نفس الهدف بطرق مختلفة، دون أن يتسبّب اختلاف الطرق في أي تغيير في الهدف. وهكذا فبإمكاننا أن نصل إلى العدد 7 (عند الجمع) سواء بدأنا من 5 ثم ثنينا بـ 2 أو بدأنا بـ 2 ثم عرجنا على 5. بمعنى أننا نصل إلى نفس النتيجة سواء كتبنا 5 + 2 أو 2 + 5. وكذلك الشأن بالنسبة إلى: 1 + (4 + 2) فهي تساوي (1 + 4) + 2 وبكيفية عامة لدينا دوماً: ن + (م + ل) = (ن + م) + ل. إن هذه الخاصية تسمى: خاصية الترابط Associativité.

هذه أربع خصائص جديدة اكتشفناها في البنية المذكورة.

وعندما نكون أمام مجموعة من العناصر يمكن أن نجري عليها عمليات تركيب تتوفر فيها تلك الخصائص الأربع السابقة، فإن المجموعة تشكّل في هذه الحالة ما يعرف اصطلاحاً بـ «الزمرة».

لقد استعملنا فقط مجموعة تتألف من ثلاثة أعداد... ولكن يمكن النظر إلى مجموعة جميع الأعداد الصحيحة، أو جميع الأعداد الحقيقية، كمجموعة تتوفر فيها الخصائص المذكورة وبالتالي فإن مجموعة الأعداد تشكل زمرة. والعمليات الجبرية التي تجريها على الأعداد هي عمليات من هذا النوع. وإذن، فـ الجبر هو دراسة بنيات معينة هي البنيات الجبرية.

وكذلك الشأن في الهندسة. ولبيان ذلك نأخذ هذا المثال وهو يتعلق بعمليات النقل في المكان[6].

لنتأمل الشكل التالي:

ج
ب
أ
د

فإذا ركبنا أ مع ب، ثم مع ج (أي إذا انتقلنا من «أ» إلى «ب» ثم من «ب» إلى «ج»)، فإن هذا التركيب تتوفر فيه الخصائص الأربعة المذكورة، ذلك لأن:

١ ـ حاصل التركيب بين نقلتين (أ ب، ثم ب ج) هو نقلة من نفس النوع، إذ يصبح بإمكاننا الانتقال من «ج» إلى «د» أي أن النتيجة هي نقلة أخرى.

٢ ـ هناك نقلة محايدة تترك الشكل كما هو، أي «القيام» بعملية فارغة، أي عدم القيام بأية نقلة (العنصر المحايد).

٣ ـ هناك عملية عكسية تلغي العملية الأصلية. فالنقلة العكسية لـ: أ. ب هي ب. أ (انتقال من «أ» إلى «ب» يلغيه الانتقال من «ب» إلى «أ»، والنتيجة هي العنصر المحايد (عدم الانتقال).

٤ ـ إن الوصول إلى «د» يظل ممكناً سواء سلكنا الطريق أ. ج. د، أو الطريق أ. ب. د (الترابط).

وإذن فعمليات النقل أو التحويل الهندسي تشكل هي الأخرى زمراً. ودراستها هي، في نهاية التحليل، دراسة لزمر معينة.

على أن الأمر لا يخص فقط عمليات التحويل الهندسي المكاني. بل يعمّ مختلف عمليات التحويل التي تتوفّر فيها الخصائص التركيبية المذكورة. من ذلك مثلاً التحويل اللغوي أي الترجمة. إن عمليات الترجمة تشكّل زمرة كما يتضح من المثال التالي[7].

ـ إن الترجمة من الانكليزية إلى الفرنسية تجعل في امكاننا دوماً الانتقال إلى لغة أخرى كالعربية مثلاً، أي القيام بعملية جديدة هي الترجمة من الفرنسية إلى العربية والنتيجة عنصر من نفس المجموعة (مجموعة اللغات).

ـ يمكن أن نعتبر النص الانكليزي هو الأصل، وفي هذه الحالة تكون «ترجمته» إلى الانكليزية تعني إبقاء النص كما هو: العنصر المحايد.

---

(٦) اقتبسنا هذا المثال من كتاب: Paul Moy, *Logique* (Paris: Hachette, 1952).

(٧) اقتبسنا هذا المثال من كتاب: Ullmo, *La Pensée scientifique moderne*.

ـ إذا انتقلنا من الانكليزية إلى الفرنسية، ثم من الفرنسية إلى العربية، فإنه سيكون بإمكاننا دوماً الرجوع من العربية إلى الانكليزية مباشرة. أي القيام بـ عملية عكسية تلغي العمليات السابقة وتعود بنا إلى العنصر المحايد.

ـ سواء قمنا بالترجمة من الانكليزية إلى الفرنسية، ثم إلى العربية، أو من الفرنسية إلى الانكليزية ثم إلى العربية، فالنتيجة واحدة، وهي الوصول إلى النص العربي. ـ خاصية الترابط.

لنعمم الآن الاجراءات والعمليات التي قمنا بها في الأمثلة السابقة. ولنقل إن الأمر يتعلق دوماً بتطبيق علاقة معينة على جملة من العناصر. قد تكون هذه العلاقة هي الجمع أو الطرح أو الضرب، أو النقل أو الترجمة، أو أية علاقة أخرى، مثل أكبر وأصغر، وأسبق. . . الخ. وبما أن الأمر لا يخص عناصر معينة، بل أية عناصر تشكل مجموعة، كيفما كانت، فبإمكاننا أن نرمز إليها بالحروف. فالرمزان س، ص ـ فيما يلي ـ يشيران إلى عنصرين، من دون تعيين. وبما أن الأمر يتعلق كذلك بتطبيق علاقة ما، قد تكون: الجمع، أو الطرح. . أو النقل. . أو الترجمة. . أو أية علاقة أخرى، فيمكننا أيضاً أن نرمز لتطبيق العلاقة بالرمز التالي ـط. ومن هنا نستطيع أن نصوغ خصائص التركيب صياغة رمزية. وهذه بعض الخصائص، خصائص تركيب في الزمر(*):

١ ـ التبادل Commutativité، وصيغتها كما يلي:

س ـط ص = ص ـط س.
(3 ـط 0 = 0 ـط 3).

٢ ـ العنصر المحايد: Elément neutre، وصيغته الرمزية: مهما يكن س، فإن:

0 ـط س = س.
س ـط 0 = س.

(الصفر هو العنصر المحايد بالنسبة إلى الجمع، والواحد هو العنصر المحايد بالنسبة إلى الضرب، والمجموعة الفارغة هي العنصر المحايد بالنسبة إلى اتحاد المجموعات. . .).

٣ ـ العناصر المتناظرة Eléments symétriques وصيغتها كما يلي:

مهما يكن س فإنه يوجد دائماً عنصر آخر هو ص بحيث إن:

س ـط ص = 0.
ص ـط س = 0.

(*) Maurice Glymann, «L'Algèbre,» dans: *Les Dictionnaires du savoir moderne: Les Mathématiques*, pp. 17-26.

وبكيفية عامة يقال عن العنصرين س، ص، من مجموعة ل، أنهما متناظران في قانون التركيب ـط إذا كان:

س ـط ص = عم.

و ص ـط س = عم.

عم = عنصر محايد.

وإذن، فلا يمكن أن توجد عناصر متناظرة إلّا إذا كان هناك عنصر محايد في قانون التركيب المعمول به.

٤ ـ **الترابط** Associativité. يكون قانون التركيب ترابطياً إذا حقق المساواة التالية:

(س ـط ص) ـط ك = س ـط (ص ـط ك)

٥ ـ **العنصر المنتظم** Elément régulier هو العنصر الذي يؤدي، بتطبيق العلاقة بين عنصرين، إلى تساويهما:

أ ـط س = أ ـط ص، تؤدي إلى س = ص.

٦ ـ **التوزيع** Distributivité معروف أن الأعداد تقبل الجمع والضرب. والضرب يقبل التوزيع على الجمع لأن:

أ × (ب + ج) = (أ × ب) + (أ × ج)

في حين أن الجمع لا يقبل التوزيع على الضرب، لأن:

أ + (ب × ج) ≠ (أ + ب) × (أ + ج).

ذلك باختصار بعض خصائص قوانين التركيب في الزمر. وكما قلنا قبل، فبمجرد ما نحدد قانوناً أو جملة قوانين التركيب بين عناصر مجموعة ما، فإننا نقول عن هذه المجموعة إنها تمتلك بنية. والبنية التي تخضع قوانين التركيب فيها للخصائص الأربع التي ذكرناها في تعريف الزمرة، تصبح زمرة. وقد تمكن الرياضيون من استخراج بنيات أعمّ، بواسطة التقابل Isomorphisme[9]، بنيات يمكن أن تخضع لها مختلف العناصر الرياضية، مهما كان ميدانها، وبقطع النظر نهائياً عن طبيعتها.

ومن البنيات الرياضية المهمة: «البنيات الأم»، وهي بنيات أساسية، منها تتفرع بنيات أخرى، لا يمكن أن ترتد إلى بعضها. وهذه «البنيات الأم» هي:

١ ـ **البنيات الجبرية** Structures algébriques التي تشكل الزمرة كما شرحناها سابقاً، نموذجها الأصل.

٢ ـ بنيات الترتيب Structures d'ordre، وهي التي تكون العلاقات فيها علاقات ترتيب

---

(٩) انظر الفصل الثاني من هذا الكتاب بعنوان: «خصائص الاكسيوماتيك».

من نوع: (س هي على الأكثر تساوي ص) فإذا رمزنا لعلاقة الترتيب هذه بالرمز ـع، وللعنصرين اللذين تقوم بينهما تلك العلاقة بالحرفين س، ص، فإنه يمكننا صياغة الأوليات التي تقوم عليها هذه العلاقة الترتيبية كما يلي:

أ ـ هناك لكل س: س ـع س.

ب ـ إن العلاقتين س ـع ص، وص ـع س، تستلزم س = ص.

ج ـ إن العلاقتين: س ـع ص، وص ـع ل تستلزم س ـع ل.

وواضح أن مجموعة الأعداد الصحيحة، أو مجموعة الأعداد الحقيقية، تشكل بنيات من هذا النوع إذا عوضنا فيها العلاقة (ـع) بالرمز ≶ (يساوي أو أصغر). ذلك لأن الأعداد إما أن تكون متساوية وإما أن يكون بعضها أصغر من بعض.

٣ ـ **بنيات طوبولوجية** Structures topologiques، وهي تمدنا بصياغة رياضية مجردة للمفاهيم الحدسية المتعلقة بالجوار والاتصال والحدود التي تخص إدراكنا للمكان[١٠].

ومن هذه البنيات الثلاث الأساسية تستخرج بنيات أخرى ـ كما أشرنا إلى ذلك آنفاً ـ إما بالتأليف، وذلك عن طريق اخضاع مجموعة من العناصر معينة لبنيتين معاً، وإما بالتفاضل أي بإدخال أوليات جديدة تحدد بنية فرعية وتعطيها تعريفها، كما يمكن بعملية الإضافة هذه، الانتقال من بنيات مشبعة مغلقة إلى بنيات ضعيفة مفتوحة[١١].

وهكذا، فبواسطة البنيات الأولية الأساسية هذه حققت الرياضيات وحدتها. فقد تكسرت الأطر القديمة التي كانت توزع الرياضيات إلى جبر وهندسة وتحليل... فالهندسة مثلاً لم يعد لها وجود مستقل، إذ أصبحت عبارة عن دراسة بنيات جبرية طوبولوجية معينة، وأكثر من ذلك، حلت الرياضيات بواسطة هذه النظرة الجديدة إلى موضوعها (موضوعها هو البنيات)، حلت مشكلة قديمة، هي الصراع بينها وبين المنطق. فلقد امتصت البنيات المنطق واستوعبته. وأصبح المنطق بدوره نظرية في البنيات المنطقية، أي في بعض البنيات الجبرية[١٢].

ثالثاً: مفهوم اللامتغير L'invariant

لنعد الآن إلى الأمثلة السابقة التي شرحنا من خلالها خصائص الزمرة، ولنجمل ذلك في العبارات التالية، كتعريف: الزمرة هي مجموعة من العناصر تتركب تركيباً ترابطياً، وتشتمل دوماً على عنصر محايد، ويكون الناتج من تركيب عنصرين فيها عنصراً آخر ينتمي

---

(١٠) Nicolas Bourbaki, «L'Architecture des mathématiques,» dans: François Le Lionnais, *Les Grands courants de la pensée mathématique*, nouvelle éd. augmentée, l'humanisme scientifique de demain (Paris: A. Blanchard, 1962).

(١١) انظر الفصل الثاني من هذا الكتاب.

(١٢) Lichenerowicz, «Remarque sur les mathématiques et la réalité,» p. 479.

إليها، كما أنه يمكن القيام فيها دوماً ـ وهذا من الأهمية بمكان ـ بعملية عكسية تلغي العملية أو العمليات الأصلية.

وإذا تأملنا هذا التعريف تبين لنا أن الزمرة تتصف، في آن واحد، بخاصيتين أساسيتين: الكمال، والانغلاق:

ـ هي كاملة لأنها تسمح بإجراء جميع العمليات الممكنة، وعلى أوجه مختلفة إلى الحد الذي لا يبقى في إمكاننا معه القيام بأي تركيب جديد. وهكذا، فإذا كانت لدينا مجموعة من ثلاثة عناصر هي أ، ب، ج، فبإمكاننا التأليف بينها على ستة أوجه مختلفة لا يمكن تجاوزها. وهي أ. ب. ج، أ. ج. ب، ب. أ. ج، ب. ج. أ، ج. أ. ب، ج. ب. أ.

ـ وهي منغلقة، بمعنى أن عمليات التأليف بين عناصر المجموعة لا يمكن السير بها إلى اللانهاية. بل هناك دوماً حد معين إذا تجاوزناه وجدنا أنفسنا أمام عملية عكسية تلغي العمليات السابقة. فالعمليات الست التي أجريناها على عناصر المجموعة (أ، ب، ج) لا يمكن تجاوزها وإلا كررنا إحدى تلك العمليات، فبالإمكان إذن إلغاؤها جميعاً بالرجوع إلى الوضع الأول أ. ب. ج. وهكذا نقول: إن عمليات التحويل في الزمرة قابلة للعكس أو الارتداد Reversible، فالزمرة تلغي بنفسها عمليات التحويل تلك لتعود إلى وضعها الأول، وهذا ما نقصده عندما نقول إن الزمرة تتصف بخاصية التنظيم الذاتي Autoréglage.

وهنا نلتقي مع خاصية ثالثة للزمرة، من الأهمية بمكان، بل مع مفهوم أساسي، في مجال العلاقات البنيوية كلها، مفهوم اللامتغير[13] Invariant ذلك لأنه إذا كانت الزمرة تلغي بنفسها التغيرات التي يمكن أن تلحقها، فذلك لأن شيئاً ما قد بقي فيها بدون تغيير أثناء عمليات التحويل. وبعبارة أخرى إن الزمرة تسمى زمرة، لا مجرد مجموعة، لأنها تشمل دوماً على «لامتغير»، هو الذي يحفظ لها كيانها ويعطيها شخصيتها، إن صح القول. فما من عمليتين من عمليات التحويل في الزمرة إلا ويكون حاصلها محتفظاً بهذا اللامتغير، مما يجعل في الامكان الرجوع دوماً بالعمليات المجراة إلى نقطة الانطلاق.

فاللامتغير في عمليات التحويل اللغوي (الترجمة) هو معنى النص، وهو الذي يمكننا من الرجوع إلى اللغة الأصلية التي انطلقنا منها. واللامتغير في عمليات التحويل التناظري (مثلاً: تشابه المثلثات أو تطابقها) هو المسافة. وفي عمليات التحويل التبادلي (الأوجه الستة لمجموعة أ. ب. ج المذكورة أعلاه)، هناك لا متغير وهو عدد العناصر.

لقد أكدنا من قبل أن المهم في جميع الأمثلة التي أتينا بها هو قواعد التركيب التي تخضع

---

(13) في الاصطلاح العلمي هناك فرق بين اللامتغير Invariant وبين الثابت Constante. فاللامتغير هو علاقة، أو قيمة ثابتة في اطار بعض التحولات. أما الثابت (في الرياضيات) فهو كمية مستقلة عن التغيرات التي تلحق إحدى الدوال، وفي الفيزياء: الثابت هو عدد مضبوط يتعلق بظاهرة معينة، فدرجة ذوبان جسم ما يعبر عنها بعدد ثابت... وكذلك التبخر والوزن النوعي لجسم ما. وتلعب الثوابت في الفيزياء الذرية أهمية بالغة، ثابت بلانك مثلاً. ونستعمل أحياناً كلمة «ثابت» ونحن نقصد بها اللامتغير كما عرفناه هنا.

لها العمليات التحويلية التي تقوم بها، وهي قواعد مستقلة عن نوع العناصر. فالقواعد هي هي، سواء كانت العناصر نقطاً أو خطوطاً أو أعداداً، أو قطعاً، أو كلمات، أو أجساماً... لذلك يمكن غضّ الطرف نهائياً عن هذه العناصر، والأخذ بعين الاعتبار فقط العمليات وحدها، التي تصبح حينئذ غير ذات دلالة مشخصة، بل ينظر إليها فقط من حيث كونها مجموعة عمليات وعلاقات تشكّل نسقاً أو منظومة ذات قواعد للتركيب معينة. إن هذه القواعد التي تمكننا من الحصول على الناتج من عمليات التركيب المجراة تشكل بحق بنية الزمرة. وفي هذه الحالة نكون أمام بنية بمعنى الكلمة، أي أمام زمرة مجردة لا تتقيد فيها بطبيعة العناصر المكوّنة لها، مما يمكن من تحقيق هذه الزمرة المجردة واقعياً بأشكال مختلفة. وعندما يكون في الامكان ذلك، فإن هذه الأشكال أو الطرز Modèles تكون تقابلية Isomorphes[14].

ها نحن إذن، قد وصلنا من خلال الزمرة إلى تعريف للبنية باعتبارها مجموعة من العلاقات المستقلة عن العناصر التي تجري فيها وتتميز بكونها لامتغيرة خلال جميع التحولات التي يمكن اجراؤها على تلك العناصر. فالجملة اللغوية بنية لأنها عبارة عن مجموعة من العلاقات اللامتغيرة تقوم بين عناصرها (كلماتها) في إطار بعض التحوّلات الممكنة. والشكل الهندسي لجسم صلب هو بنية ـ مثله مثل تصميم عمارة ما ـ لأنه مجموعة من العلاقات القائمة بين مختلف نقطه، تلك العلاقات التي تبقى لامتغيرة خلال عملية التحويل التناظري.

إن الزمرة إذن ـ كما يقول جان أولمو[15] ـ هي أفضل وسيلة لتعريف البنية. ولكنها أيضاً، وهذا من الأهمية بمكان، هي نفسها التي تعرف وتحدّد اللامتغير الخاص بها.

لقد لاحظنا من قبل أن اللامتغير هو المعنى بالنسبة إلى زمرة عمليات الترجمة، والعدد بالنسبة إلى عمليات التحويل التبادلي، والمسافة بالنسبة إلى عمليات التحويل التناظري. وقد تبدو لنا هذه اللامتغيرات بسيطة جداً، واضحة جداً إلى درجة تجعلنا نعتقد أننا نعرفها قبل اكتشاف الزمرة. بل قد نعتقد أنها من «محتويات» أو «مبادىء» العقل. ويكفينا أن نلاحظ أن «ثبات الشيء» وبقاءه هو هو في بعض التغيرات (كثبات معنى النص في الترجمة) هو ما نسميه بـ «مبدأ الهوية» وأن قابلية التحوّلات للعكس، أي وجود عملية عكسية تلغي العملية أو العمليات الأصلية، هو ما نسميه بـ «مبدأ عدم التناقض»، ومنه يستخلص مبدأ «الثالث المرفوع»، أضف إلى ذلك الخاصية الأخرى التي للزمرة، والتي عبرنا عنها بكون نقطة الوصول مستقلة عن الطرق المؤدية إليها (خاصية الترابط)، فهي أيضاً تعبر عن «حقيقة بديهية» ـ كما نعتقد ـ نعبر عنها بـ: المساويان لثالث متساويان[16].

(5 + 2 = 2 + 5 إذن 7 = 5 + 2 , 7 = 2 + 5).

---

(١٤) نفس المرجع المذكور: وعليه نعتمد في هذه الفقرات.

(١٥) انظر الفصل الثاني من هذا الكتاب بعنوان: «خصائص الأكسيوماتيك».

(١٦) Jean Piaget, *Le Structuralisme*, que sais-je?; no. 1311 (Paris: Presses universitaires de France, 1968), p. 19.

والواقع - كما يقول أولمو - إن مثل هذه الأفكار أو «المعاني البسيطة» لم تترسّخ في أذهاننا إلاّ من خلال تكرار عمليات التحويل الزمرية. إن تكرارها عبر القرون والأجيال، وخلال تجاربنا اليومية، قد جعلنا نألفها ونتعودها، وبالتالي لا تثير انتباهنا، فنعتقد أن اللامتغيرات الخاصة هي من عمل الحدس العقلي أو أنها مبادىء أولية للعقل.

رابعاً: الزمرة وبناء الأشياء: مشكل الموضوعية

على أساس هذه الملاحظات يحاول جان أولمو أن يشرح كيف أن معرفتنا للعالم تقوم على مفهوم الزمرة، مما يجعل الأبحاث التي تخص الزمرة وعمليات التحويل نظرية جديدة في المعرفة. وهذه بعض التفاصيل.

لقد نظرنا إلى الزمرة، فيما سبق من حيث إنها نشاط فكري. وأما الآن فسننظر إليها من حيث إنها الشرط الضروري لمعرفة العالم، والشرط الضروري أيضاً لموضوعية معرفتنا به، الشيء الذي سيمكننا من إبراز كيف يتلاقى الفكر مع الأشياء المعطاة له، وبالتالي حل الإشكال - الأساسي في مشكل الحقيقة.

يقول أولمو إن بناء معرفتنا للعالم الخارجي يقوم على مفهوم الزمرة أساساً. والزمرة هي مقياس الموضوعية، مقياسها الأمثل. وهذا ما يشرحه من خلال مثالين غنيين بالدلالة: مثال رجل وحيد منعزل، ومثال مجموعة من الأفراد يلاحظون العالم من جميع الأوجه الممكنة.

لنبدأ بالمثال الأول، لنفرض إنساناً وحيداً منعزلاً، يرى أشياء أمامه. فما الذي يمكّن هذا الانسان من الجزم بأن هذه الأشياء التي يراها هي فعلاً أشياء موجودة، لا مجرد أوهام أو أضغاث أحلام؟

للجواب عن هذا السؤال، لنلاحظ أولاً أن هذا الشخص يواجه موجة متدفقة من الاحساسات نتيجة تنبيه تلك الأشياء لحواسه. ولنتساءل كيف يمكن لهذا الشخص أن يعطي الصبغة الخارجية لهذه الاحساسات الداخلية، أي كيف يعطي وجوداً موضوعياً مستقلاً عنه لاحساساته الذاتية، وبعبارة أخرى كيف يبني أشياء العالم؟

لنفرض أن هذا الرجل يغير من وضع جسمه، يتحرك يميناً وشمالاً. إنه يشعر بهذه «التحولات» من خلال احساساته العضلية، وفي الوقت نفسه يستطيع بواسطة هذه «التحولات» أن يعدل من الاحساسات التي يحسّ بها. فكيف يمكن هذا الشخص أن ينتقل من الشعور بالتحوّل الذي يتعرّض له جسمه والذي يستتبع تحوّلاً مماثلاً في احساساته، إلى الاعتقاد بوجود عالم خارجي مستقل عنه؟

يمكنه ذلك فعلاً، لأنه يستطيع أن يلاحظ في احساساته نوعاً من الثبات والدوام، وهو ثبات يكتشفه من خلال تكرار تحوّلات جسمه. إنه يغير احساساته بإرادته، أي بواسطة تحوّلاته، ولكنه يستطيع أيضاً أن يسترجع الشعور بتلك الاحساسات بعملية تحول ارادية

أخرى. فإذا أحسّ بالحرارة وهو متجه بوجهه إلى أمام، فإنه يستطيع أن ينفي هذا الشعور بالتحول بوجهه إلى وراء... ولكنه يستطيع أن يعيد في نفسه الشعور بالحرارة بإلغاء هذا التحول والرجوع إلى الوضع الأول. إن هذه الظاهرة، ظاهرة كونه يستطيع دائماً أن يجد في نفسه نفس الاحساسات التي أحس بها من قبل، بمجرد إلغاء التحوّل والرجوع إلى الوضع الأول، تحمله على الاعتقاد بأن احساساته قد بقيت ـ نظرياً على الأقل ـ حاضرة خلال تعرضه لإحساسات أخرى مغايرة. وهذا يعني أن لتلك الاحساسات التي يعتقد في دوامها وحضورها، أساساً تقوم عليه، يحفظ لها دوامها، أي أن هناك عنصراً لا متغيراً. وليس هذا العنصر سوى قابلية تلك التحوّلات للتكرار. وهكذا تلعب التحوّلات ـ أو العلاقات ـ القابلة للتكرار في شكلها الأكثر بساطة دوراً أساسياً في عملية المعرفة.

واضح أن كون صاحبنا يجد في نفسه الاحساسات التي أحسّ بها على الرغم من التحولات التي خضع لها جسمه، يعني أنه قادر على إلغاء ومحو جميع الاحساسات الأخرى التي تفصل بينه وبين احساساته الأولى. وهذا يدل دلالة واضحة على أن تلك التحولات في الحساسية تشكل زمرة، وهكذا فإذا قام هذا الشخص بتحوّل واحد أي بتعديل واحد في احساساته، فإن إلغاء الاحساس الجديد الذي قد يشعر به نتيجة هذا التحوّل يتوقف فقط على القيام بتحوّل عكسي، أي على الرجوع إلى الوضع الأول. كما يمكنه إلغاء مختلف الاحساسات الجديدة التي تسبب فيها تحولات كثيرة، وذلك بإجراء تحوّل واحد على جسمه يعود به إلى الوضع الأول.

إن قابلية هذه العمليات التحويلية للتكرار مع امكانية الرجوع دوماً إلى الاحساس الأول دليل على أن هناك مصدراً تنبعث منه هذه الاحساسات، مصدراً يبقى «ثابتاً» لا متغيراً خلال جميع التحولات. وما هذا اللامتغير إلاّ ما نسميه بالأشياء الصلبة، التي تفرض علينا وجودها الموضوعي بهذه الطريقة.

على أن المسألة هنا أكبر من ذلك وأعمق. ذلك لأنه إذا نظرنا إلى الزمرة التي تشكلها التحولات التي تتعرض لها أجسامنا من جراء تغيير في وضعيتها، من حيث إننا نستطيع إلغاءها بإحداث وضعية جديدة، فإن اللامتغير في هذه الزمرة هو المسافة التي تمكننا من بناء المكان. أما إذا نظرنا إلى الزمرة التي تشكلها التحولات التي تسبب فيها حركة جسمنا، فإن اللامتغير في هذه الزمرة هو الأجسام الصلبة التي بواسطتها نشيد عالم الأشياء. وبعبارة أوضح إن عملية التحويل التي يحدثها الشخص الذي تتحدث عنه هي في الحقيقة زمرتان متداخلتان:

ـ هناك أولاً تحوّلات احساساته، واللامتغير في هذه الزمرة هو المسافة.

ـ وهناك ثانياً تحوّلات الجسم أي حركته حول الشيء، واللامتغير في هذه الزمرة هو الشيء الصلب.

ولتوضيح هذه الفكرة توضيحاً أكثر نأخذ مثالاً من الاحساس اللمسي الذي يعتبر دوماً

صلة الوصل المباشرة بيننا وبين العالم الخارجي. لنفترض أنك واقف ازاء كرسي يصدم يدك كلما مددتها، فمن الواضح الجلي أنه كلما مددت يدك بمجهود ثابت معين اصطدمت مع الكرسي سواء اتجهت بعينيك وأذنيك وباقي احساساتك إلى هذه الوجهة أو تلك. إن هناك شيئاً «ثابتاً» خلال هذه التحوّلات التي تعتري احساساتك البصرية والسمعية والشمية... وما هذا «الثابت» أو اللامتغير إلا المسافة. أما إذا وضعت يدك على الكرسي وتركتها عليه وقمت بتحويل جسمك بالدوران حول الكرسي، فإن زمرة التحوّلات الناتجة من حركة جسمك تدل على أن هناك شيئاً ثابتاً لامتغيراً يبقى هو هو من حيث صلابته وشكله ومساحته، إنه الكرسي: الجسم الصلب.

وإذن، فإن تجاربنا الحسية مقيدة بخصائص بعض الزمر، وهي - أي تجاربنا الحسية هذه - ليست شيئاً آخر، سوى اكتشاف هذه الخصائص والتعرّف عليها، أي بناء الأشياء الخارجية(١٧).

وإذا اتضح لنا أن التحوّلات الزمرية هي وسيلة الانسان لتشييد المسافات أي المكان، وبناء الأشياء الخارجية (في المكان) استطعنا أن ندرك أن التحولات الزمرية هي نفسها مقياس الموضوعية، أي اتفاق جماعة من الناس على أنهم يدركون بالفعل شيئاً واحداً. فالكرسي الذي يدركه الواحد منهم هو نفسه الكرسي الذي يدركه الآخرون.

لنفرض أن لدينا شخصين يتحدثان لغتين مختلفتين، ولنرمز بـ «أ» إلى الكرسي في اللغة التي يتحدثها الأول، وبالحرف «ب» إلى اسم الكرسي في اللغة التي يتحدّثها الثاني. فلكي يحصل الاتفاق بينهما على أنهما يعنيان شيئاً واحداً بعينه (أي الكرسي) يجب أن يكون هناك تناظر بين الاسمين في قاموس للترجمة بين اللغتين، بحيث إن «أ»، في اللغة الأولى تناظر «ب» في اللغة الثانية، والعكس صحيح.

واضح أن الأمر يتعلق هنا بعملية تحويل تشكل زمرة، واللامتغير في هذه المرة هو مدلول الكرسي، في هذا المثال. إن الذي مكّن أحد الشخصين من فهم ما يعنيه الآخر هو نقله للشيء المعني من لغة ذلك الشخص إلى لغته هو. وكذلك الشأن بالنسبة إلى الشخص الآخر. إن اللغة هنا هي المرجع الذي يحدّد فيه وبواسطة كل منهما مدلول الكلمات الأجنبية عن لغته. فهي إذن **منظومة مرجعية** Système de référence للشخص الذي يتحدثها. وبما أن هذين الشخصين يتحدثان لغتين مختلفتين، فإن ذلك يعني أن لكل منهما منظومة مرجعية خاصة به. وترجمة كلمة ما من لغة إلى أخرى تعني إمرارها - أي تحويلها - من منظومة مرجعية إلى منظومة مرجعية أخرى.

إن مفهوم المنظومة المرجعية مهم وأساسي، وهو أحد المفاهيم الأساسية التي تقوم عليها نظرية النسبية، كما سنرى في الجزء الثاني من هذا الكتاب. والواقع أن كلاً منا يحدد الأشياء بالنسبة إلى منظومته المرجعية. فمنزلك مثلاً منظومة مرجعية بالنسبة إليك. وهكذا يكون

---

(١٧) نفس المرجع، ص ٢٧٢.

مركز المدينة «بعيداً» أو «قريباً» في تصورك بالقياس إلى النقطة التي يوجد فيها منزلك في المدينة، فالقرب والبعد نسبيان يتعلقان بالمنظومة المرجعية التي تستند إليها. والاحداثيات التي تحدّد بها موقع نقطة ما ثابتة أو متحركة على الرسم البياني للدالة، هي بالذات منظومة مرجعية. فموضع النقطة يتحدّد بالمسافة التي تفصله عن احداثي السينات واحداثي الصادات.

وإذن، فلكي يحصل الاتفاق بين جماعة من الناس حول شيء ما ـ أي لكي تكون معرفتهم بهذا الشيء معرفة موضوعية ـ يجب، ويكفي، أن يكون لهذا الشيء الذي يحتل نقطة معينة في المنظومة المرجعية الخاصة بأحدهم، مقابل في المنظومات المرجعية الخاصة بالآخرين. وحصول الاتفاق معناه الانتقال بهذا الشيء من المنظومة المرجعية «أ» إلى المنظومة «ب» إلى المنظومة المرجعية (ج)... مع إمكان العودة به مباشرة من المنظومة المرجعية الأخيرة إلى المنظومة الأولى... واضح أن عمليات الانتقال هذه ـ أي التحويلات ـ تشكل زمرة. ولولا وجود زمرة التحويلات هذه لما أمكن حصول الاتفاق بين الأشخاص المذكورين... وإذن فالزمرة هي مقياس الموضوعية، مقياسها الأمثل.

لقد رأينا قبل كيف يبني الشخص الواحد، المكان والأشياء الخارجية بواسطة تحوّلاته الزمرية الخاصة به. وبإمكاننا الآن أن نفهم كيف يتفق الناس على تصور معين للمكان وعلى الوجود الموضوعي للأشياء الخارجية، بواسطة التحوّلات الزمرية بين المنظومات المرجعية التي يستندون إليها. إن الموضوعية ـ موضوعية المكان وموضوعية الأشياء الخارجية ـ إنما تشيد باتفاق وجهات النظر المختلفة لعدد من الملاحظين، لكل منهم وجهات نظر متعددة. وإذن، فإن وحدة الشيء وموضوعية معرفتنا به لا تبيان إلاّ من خلال الاختلاف والكثرة، أي من خلال زمر التحوّلات. «إن الزمرة هي الشرط الضروري للتجربة، لا بمعنى أنها إطار يفرضه العقل عليها، بل لأنه ـ أي هذا الشرط ـ يشكل شرط وجود عالم موضوعي قابل للمعرفة. فإذا كان هناك عالم موضوعي، فإنه ينكشف للذين يلاحظونه بواسطة الزمر. والفكر عندما يأخذ علماً بهذا الانكشاف، انكشاف العالم له، يجرد منه مفهوم الزمرة، ثم يتتبع هذا المفهوم ويلاحق نموه وخصائصه. وتلك هي بداية النشاط العقلي. فالزمرة، إذن، هي نقطة التلاقي بين العالم والفكر: العالم يقدم الزمرة، والفكر يدركها ويتعقلها، وبذلك تبني الزمرة معقولية الطبيعة»[١٨].

خامساً: نظرية الزمر والنمو العقلي للطفل

إن هذا الذي قلناه بصدد بناء الأشياء الخارجية من خلال التحوّلات الزمرية التي تعتري إحساسات الفرد، وبناء الموضوعية من خلال التحوّلات الزمرية التي تجري بين المنظومات المرجعية لجماعة كبيرة أو صغيرة من الناس، ينطبق تماماً على الطريقة التي يتعلّم بها

(١٨) نفس المرجع، ص ٢٨١ ـ ٢٨٢.

الطفل موضعة الأشياء خارج ذاته واكتساب مفهوم الموضوعية. وهذا ما شرحه علماء علم النفس التكويني، وعلى رأسهم جان بياجي، وهكذا فـ «آخره» ما وصل إليه تقدم الفكر الرياضي هو وحده الذي يقدّم التفسير الصحيح ـ في حدود مستوى المعرفة الراهن ـ لـ «أبسط» عمليات التفكير. وفيما يلي فكرة موجزة تخطيطية عن الموضوع.

يتفق علماء النفس على أن «الحياة النفسية» أو «العقلية» لدى الطفل، خلال الأسابيع الأولى من ميلاده، لا تعدو أن تكون «كشكولاً» من الاحساسات والانطباعات، الغامضة المتراكمة: بعضها يأتيه من داخل جسمه، (الإحساس بالجوع أو الألم...) وبعضها الآخر يأتيه من الخارج (الحرارة، البرودة، ألم الوخز...). إن الطفل في هذه المرحلة لا يفرق بين ما يأتيه من الخارج عن طريق الحواس، وما يأتيه من داخل جسمه بواسطة الحساسية الداخلية، فهو لا يمتلك بعد «أنا» خاصة به، يضع الأشياء في مقابلها خارج نفسه. وكل ما هناك بالنسبة إليه هو جملة من المشاهد والصور: بصرية وسمعية ولمسية... دون أن تكون هناك أية علاقة تربط بينها. وهكذا فهو يبصر ولا يرى، ولا يعرف أنه يبصر، إنه يجهل وجود أشياء خارجية تكون موضوعاً للرؤية، لا يحس بالزمان ولا بالمكان، ولا يعرف للأسباب والعلاقات معنى، بل كل ما هناك هو حاضر مملوء يعانيه الطفل سلباً أو ايجاباً.

ومع تقدم الطفل في السن، تبدأ عملية التمييز تدريجياً، بواسطة تكرار الحوادث. ويبدأ التكرار أولاً بحاجاته الجسمية من غذاء ونظافة، مما يجعل احساساته الداخلية تبدأ في الارتباط بعمليات معينة، (إحساس الجوع يرتبط بالثدي والرضاعة)، وهكذا يميز، بادىء ذي بدء، إحساس الجوع... ثم تأخذ احساساته الأخرى في التمايز، بنفس الشكل، أي بتكرار المنبهات والاستجابات والإشباعات. ومع نمو حواسه ـ من الناحية الفيزيولوجية ـ يبدأ الطفل يشعر بغياب أمه، أو بتأخر الطعام، فيبكي ويقلق ثم تأتي الأم ومعها الطعام، فيزول القلق والإحساس بالجوع ويرجع الطفل إلى حالته الطبيعية... إن حضور الأم باستمرار هو، بالنسبة إلى الطفل، النقطة الثابتة ـ أو اللامتغير ـ التي بدونها يفقد توازنه. ولكن الأم لا يمكن لها أن تبقى دوماً بجانب طفلها، فهي مضطرة لأن تغيب عنه بين فترة وأخرى... إن هذا الحضور والغياب المتكررين هو ما يجعل الطفل يتكوّن لديه ما يسمّى بـ «الأنا» أو «الآخر». إنه يشعر، تدريجياً، وبواسطة زمرة التحوّلات الناتجة من حضور الأم وغيابها، أن أمه، شيء آخر غيره... إنها تصبح بالنسبة إليه بالتدريج موضوعاً، بعد أن كان «يعتقد» أنها وإياه شيء واحد أو أنها أناه الخاصة. وتلك هي الخطوة الأولى التي يخطوها الطفل على سلم بناء الموضوعية.. خطوة تشكّلت بالتحوّلات الزمرية الناتجة عن تكرار حضور وغياب الأم.

ثم تتقدم السن بالطفل، ويبدأ في الحركة والنشاط، أي في التعامل مع ما نسميه نحن «الأشياء الخارجية»: يرى القطة أمامه، ثم تغيب هي، ويبقى هو حاضراً، ثم تحضر من جديد، يأخذ الكأس، فيقع من يده وينكسر، وتبقى يده سالمة، وتأتيه أمه بكأس جديد... إلى غير ذلك من الحوادث المماثلة المتكررة يومياً، والتي هي عبارة عن تحوّلات زمرية، تمكّن الطفل من بناء الأشياء الخارجية، شيئاً فشيئاً.

ويبلغ الطفل السنة الثانية من العمر، فيزداد نشاطه الحركي. ويتعلم بالمحاولة والخطأ. ومن تكرار المحاولة والخطأ يكتسب القدرة على الاتيان بحلول ملائمة دون سابق خبط عشوائي. إن التعلم بالمحاولة والخطأ يعني أن العمليات الرمزية المرتبطة بتكرار المحاولة والخطأ خلال النشاط العملي الذي يقوم به الطفل، تنتقل - أي العمليات الرمزية - إلى الذهن، أو تنعكس عليه، الشيء الذي يمكن الطفل من الاستغناء عن المحاولات العملية بتصورها ذهنياً. إنه يتصور الفعل قبل القيام به، والتصور أو التفكير، يقوم مقام الحركة. وبذلك تنتقل المحاولة والخطأ من المجال العملي الذي يتطلب وقتاً إلى النشاط الذهني الذي يتم كلمح البصر، وفي هذا اقتصاد للجهود، واقتصاد للفكر. إن التفكير، إذن، مرتبط ارتباطاً لا انفصام له بالفعل الذي يؤسسه، بزمرة التحوّلات التي منها يتكون. التفكير حركة، ويبقى دوماً مرتبطاً بالحركة. هكذا يتضح أن الفهم القديم الذي كان يربط التفكير بالحواس والانطباعات الحسية ربطاً آلياً مباشراً (علم النفس الترابطي - لوك مثلاً) فهم خاطىء. فليس التفكير امتداداً لعمل الحواس، بل هو امتداد، أو انعكاس، النشاط العملي، للحركة.

إن طفلنا الآن يستطيع بناء الأشياء الخارجية، ولكنه لم يكتسب بعد الموضوعية. إن الظاهرة البارزة في هذه المرحلة من حياته هي ظاهرة التمركز حول الذات égocentrisme: إنه يفسر الأشياء الخارجية من خلال أحواله الذاتية. (فلأنه يتألم هو عندما يسقط أو يضرب، يعتقد أن الكرسي يتألم كذلك عندما يضرب أو يسقط أو يتكسر) وبالجملة فالأشياء التي يتعامل معها «تعيش» نفس التجربة التي يعيشها هو... إنها «الذاتية الطفلية».

والطفل في هذا معذور، فهو لا يحسن الكلام بعد، لا يدخل مع الآخرين في تواصل وحوار، لا يقبل وجهة نظر أخرى غير وجهة نظره الذاتية. وهذا شيء واضح. فالتجربة الوحيدة التي يمتلكها هي تجربته هو، التي تشكل بالنسبة إليه منظومة مرجعية وحيدة. إنه يربط كل شيء بهذه المنظومة المرجعية التي هي ذاته، حاجاته ورغباته ومجمل احساساته... إن هذا التمركز على الذات يجعل الطفل، في هذه المرحلة يتميز في تفكيره بـ «منطق ساذج»، منطق قوامه ربط المفاهيم الأولية مع بعضها بعضاً دون أي اعتبار منطقي. إنه يربط الخاص بالعام على أساس المشابهة أو الاستدلال غير المراقب، ولذلك يفشل في إقامة العلاقات بين الأشياء... إنه يفتقد إلى الموضوعية.

وتتقدم السن بالطفل فيبلغ عمره ثلاث سنوات أو يزيد، فيدخل مع أقرانه، في البيت أو في الشارع، أو في مدرسة الحضانة، في عالم الألعاب الجمعية، وقد انتظمت أفعاله وحركاته، وأصبح قادراً على الكلام وفهم الآخرين. هنا، في الألعاب الجمعية، يكتشف الطفل الوجود الواقعي للآخرين، فيحاول التكيف مع هذا الوجود الموضوعي. ذلك لأن الألعاب الجمعية لدى الأطفال ذات طابع رمزي دوماً: هذا يمثل دور الأب، وذاك يمثل دور المعلم... إلخ. إنه «لعب أدوار» لعب يقوم على الفردية والتعاون معاً: التعاون لأداء ما يرمز إليه من تصورات خيالية في الغالب، والفردية، لأن كل طفل يلعب دوراً منفرداً خاصاً

به. ولكي تتحقق المزاوجة بين التعاون والفردية، لا بد من قواعد اللعب، لا بد من احترام هذه القواعد. إن اللعب الجماعي زمرة، وللزمرة قوانين للتركيب خاصة. إن الأطفال عندما يلعبون، يكون لكل منهم منظومته المرجعية الخاصة، والنجاح في اللعب يتطلب قيام نوع من الانسجام والاتفاق، يتطلب عمليات تحويل زمرية بين تلك المنظومات المرجعية (الطفلية)... وهكذا، بواسطة عمليات التحويل الزمرية هذه، تأخذ «الذاتية الطفلية» في الانفكاك، لتحل محلها الموضوعية.

لقد بلغ طفلنا السادسة من عمره أو يزيد، وها هو يجد في «الزمرة المدرسية» ما يساعده على تحقيق ذاته - فرديته - مع مراعاة متطلبات الحياة داخل الجماعة، أي التصرّف وفق قواعد زمرية معينة. إن ممارسة النشاط العملي وفق هذه القواعد - في القسم أو في الساحة - يتعكس أثرها ليس فقط على سلوك الطفل (التعاون، التسامح...) بل أيضاً على تفكيره. إن تفكيره هنا سيخضع شيئاً فشيئاً لنفس القواعد من النظام والترتيب. (إن رفع الأصبع لطلب الكلمة، والجلوس في المقعد مع أقرانه، ثم الدخول والخروج جماعة، ومتابعة حركات المعلم عندما يشرح الدرس - كل ذلك عبارة عن نشاط عملي يشكّل زمراً، هي الزمر التي تنعكس على ذهن الطفل، فتشكل بنيته. ولذلك يقال: إن من لم يجلس على مقعد في القسم لن يتعلّم النظام في تفكيره حتى ولو كان عالماً علامة نحريراً).

يواجه طفلنا الآن عالماً مستقلاً عنه، عالماً يتطلب منه الخضوع لقواعده، إذا هو أراد أن يحقق ذاته، يتطلب منه مراجعة أفعاله وتصرفاته، إذا هو أراد أن يكون مقبولاً باستمرار داخل الجماعة. إن قواعد السلوك، هذه التي يتعلمها داخل الجماعة سترتفع إلى مستوى تفكيره حيث سيكون على الطفل أن يفكر طبقاً لقواعد مماثلة: يلائم، ويراجع، وينتقد... إن سن السابعة هو بحق «سن الممحاة» يمحو الطفل سبورته، ويصحح أخطاءه، أي يمحو من فكره الأخطاء. إن عملية المحو عملية تحويل زمرية... كما هو واضح.

إنها قفزة هائلة إلى الأمام بالنسبة إلى التطور العقلي للطفل، قفزة من تفسير الحوادث والتفكير في الأشياء انطلاقاً من الاحساسات والأحوال الذاتية إلى تفسيرها والنظر إليها بوصفها أشياء وحوادث موضوعية، مستقلة عن إرادته ونشاطه. إن طفلنا الآن يبحث عن العلاقات والأسباب، لا يربط الأشياء بذاته، بل يربط بعضها ببعض. لقد كان تفكير الطفل من قبل قائماً على «الحدس الحسي»: يرى الماء في قارورة طويلة ضيقة مرتفعاً إلى مستوى أعلى من الارتفاع الذي يبلغه نفس الماء عندما يوضع في إناء عريض، فيقول إن الماء في الحالة الأولى أكبر من الماء في الحالة الثانية. أما الآن فهو يحكم بأن كمية الماء واحدة، وأن الاختلاف راجع فقط إلى شكل الاناء. لقد كان الطفل يرى من قبل في قطعة السكر التي تذاب في الماء شيئاً قد زال عن الوجود... أما الآن فهو يحكم باستمرار وجود السكر في الماء، بل ويحكم بإمكانية استخراجه منه من جديد. كان الطفل يفسر الحوادث من قبل بالقياس إلى تيار شعوره، أي يرى فيه حوادث غير قابلة للعكس أو الارتداد، أما الآن فهو يؤوّل الحادث كعلاقة، كشيء قابل للارتداد. إنه يبني منزلاً بواسطة المربعات الخشبية، ثم

يفكك المنزل إلى قطع، ثم يعود إلى بنائه من جديد... وهكذا نجد أنفسنا دوماً أمام نمو عقلي أساسه تحوّلات زمرية.

لقد شقّ النمو العقلي للطفل طريقه من الاحساسات الغامضة التي تأخذ في التمايز بتكرار زمرة التحوّلات الحسية، إلى الحدس الحسي الذي يمنحه فكرة الموضوعية بواسطة زمرة التحوّلات الحركية، إلى العمل المنظّم المقنن داخل الجماعة بواسطة قوانين التركيب التي تخضع لها اللعبة الجمعية... إنه الآن قادر على تجاوز التغيرات والتحولات التي تعتري حواسه أو جسمه أو موقعه هو، أو موقع الآخرين، للوصول إلى «ثبوت العناصر»، إلى اللامتغيرات. **وهل التفكير شيء آخر غير تجاوز المتغير إلى ما هو ثابت؟**

لقد أصبح طفلنا الآن يدرك ثبات الوزن رغم تعدد الكيفيات، ويدرك ثبات الموضوع رغم تعدد الصفات، بل إنه، أكثر من ذلك، أصبح الآن يتبع نفس العناصر «الثابتة» في التراكيب الجديدة ليصل معها إلى الشيء الذي لا يتغير خلال التحوّلات والتغيرات. وبهذه الوسيلة، أي باكتشاف ما هو ثابت في إطار بعض التغيرات، تتكون لديه البنيات المنطقية، أي مقولات التفكير المنطقي، كمقولات الزمان والمكان والسببية، والكم والكيف. إن الطفل يرى الآن في المكان، لا مجرد مجال للعمل الشخصي كما كان حاله من قبل، (مجال تحولاته الحسية الزمرية) بل يراه الآن كوسيلة أو إطار لتعيين وضع شيء ثابت أو متحرك بالنسبة إلى شيء آخر. وبما أنه لم يعد الآن يجعل من نفسه نقطة الارتكاز الوحيدة ـ أي منظومة مرجعية وحيدة ـ بل يأخذ بعين الاعتبار وجهات نظر الآخرين ـ أي يتعامل مع منظوماتهم المرجعية ـ فإن فكرة المكان تتحوّل لديه إلى معطى موضوعي، أي المجال الذي تجري فيه التحولات الزمرية بين منظومات مرجعية عديدة متنوعة... وبخصوص الزمان نراه الآن يربط عمر الأشخاص بتاريخ ميلادهم، لا بطول القامة كما كان يفعل من قبل. وهكذا يقتنع الطفل، خلافاً لما كان يعتقده من قبل، أنه لن يستطيع أبداً اللحاق بأبيه على صعيد العمر. لقد تعلّم من المقايسة بين استمرارية تياره الشعوري وبين تحولات الأشياء الخارجية أن الزمان غير قابل للارتداد، وها هو الآن يتعلّم حقيقة العلاقة بين الزمان والمكان، ويفهم السرعة على أنها علاقة بين الاثنين (الزمان والمكان) لا مجرد مرادف للتسارع والعجلة.

لقد أصبح طفلنا الآن راشداً أو على عتبة الرشد، وأصبح يفكّر منطقياً، أي يفكّر في ما هو ثابت في إطار ما يعتريه من تحولات، وبذلك يتكوّن لديه مفهوم السببية والقانون، وبذلك أيضاً يفكّر موضوعياً، بعد أن كان يفكّر «لاعباً» ويحسّ «ذاتياً»... والسلسلة التي انتقلت به من مرحلة الاحساس المشوش الغامض، إلى التفكير المنطقي الصارم... هي سلسلة تتكون جميع حلقاتها من زمر التحوّل، مختلفة الأنواع، متعددة الأشكال.

* * *

وإذن فليست هناك أفكار فطرية، كما كان يقول ديكارت وأتباعه، وليس العقل صفحة بيضاء تكتب عليها الحواس انطباعاتها، كما كان يقول لوك وأتباعه، وليست هناك قضايا تركيبية قبلية كما كان يتخيّل كانت، ولا قضايا تحليلية توتولوجية من جهة، وقضايا تركيبية

تجريبية من جهة أخرى، كما يقول المناطقة الوضعيون... لا شيء من ذلك يفسر عملية المعرفة.

إن المعرفة، سواء نظرنا إليها في مستوى الراشد أو في مستوى الطفولة، هي ممارسة ذهنية لتحوّلات زمرية، ممارسة ذهنية على صعيد التجريد تجد أساسها الحقيقي والوحيد في الممارسة العملية لتحولات زمرية على صعيد الواقع. وليست مفاهيم المنطق وقواعده سوى انعكاس لقواعد زمر النشاط العملي على زمر النشاط الذهني التي تجد أصلها ومنبعها في تلك.

بنيات الواقع الطبيعي ـ الاجتماعي تنعكس على الذهن فتتحول إلى بنيات عقلية، رياضية أو منطقية. أما أداة هذا الانعكاس ووسيلته فهي زمر التحويل الحسي والحركي، إنها النشاط العملي.

وإذن، فليست هناك «كائنات» رياضية، مستقلة، بل هناك بنيات ذهنية، رياضية أو منطقية. وانطباق الرياضيات على الواقع التجريبي، ليس شيئاً آخر، غير عودة هذه البنيات الذهنية الرياضية إلى الالتقاء مجدداً مع الواقع الموضوعي الذي كان أصلاً لها ومنشأ، بعد أن ابتعدت عنه، قليلاً أو كثيراً، بواسطة عمليات تجريد: تجريد بنيات الواقع يعطي بنيات ذهنية «أولية»، ثم تجريد هذه البنيات نفسها وإعادة بنائها بأشكال مختلفة حسب قواعد للتركيب جديدة يعطي بنيات ذهنية من «الدرجة الثانية»، أي درجة أعلى على صعيد التجريد... وهكذا.

تلك هي النظرة الجديدة التي تقدمها العقلانية المعاصرة للعلاقة بين الرياضيات والتجربة، وبكيفية أعم، للعلاقة بين الفكر والواقع. فهل تعبر هذه النظرة الجديدة عن الحقيقة كل الحقيقة...؟ إنه سؤال يرفض العلم الجواب عنه بشكل جاهز وقبلي... فـ «الحقيقة كل الحقيقة» هي ما يصنعه العلم خلال مسيرة تقدمه التي لا تقف عند نهاية معينة.

القسم الثاني

النصوص

١ - رحلة إلى البعد الرابع[١]

يحاول هذا النص أن يشرح ما يقصده الرياضيون بـ «البعد الرابع» وأن يجيب عن الأسئلة التي يطرحها الفهم العام حول هذا الموضوع، وذلك من خلال أمثلة واضحة مبسطة، مع الاحتفاظ للمسألة بطابعها العلمي. ان البعد الرابع الذي تتحدث عنه هذه الفقرات بعد مكاني، وقد استطاع الكاتب أن يقرب إلى الأذهان تصور الرياضيين لهذا البعد، بالإضافة إلى اعطاء كل من هندسة ريمان وهندسة لوباتشيفسكي مدلولها من وجهة النظر هذه. وهناك من الفيزيائيين والرياضيين من يتخذ من الزمان بعداً رابعاً، وهو الموضوع الذي تناوله الكاتب في القسم الأخير من مقالته. وقد أمسكنا، هنا، عن ترجمة هذا القسم من المقالة لكونه يتعلق بتصورات نظرية النسبية، وسيجد القارىء في الجزء الثاني من هذا الكتاب عرضاً وافياً عن هذه النظرية.

«سيطرت، منذ سنوات، على أذهان عدد من الباحثين، فكرة بعد رابع للكون، بل فكرة أبعاد عديدة غير تلك التي نعرفها. ويتبين من تحليل هذه الفكرة انها ذات مظهرين مختلفين جداً، يظلان رغم تداخلهما، متمايزين جوهرياً.

وجهة نظر العالم الرياضي

لنبدأ أولاً بشرح وجهة نظر العالم الرياضي باقتضاب. ومعلوم أن علماء الرياضيات رجال يستغرقون في التجريد بشكل مدهش. انهم لا يكلفون أنفسهم، على الأقل بوصفهم رياضيين، مشقة البحث عمّا قد يكون هناك من تقارب بين أفكارهم المجردة والعالم الواقعي، على الرغم من أن هذا العالم يحتويهم ويحاصرهم من كل جانب. وبصدد هذه الملاحظة، تعود بي ذاكرتي إلى الكلمة الاستهلالية التي افتتح بها إيدنغتون Eddington كتابه الذي يحمل

---

(١) André Saint-Lague, «Voyage à la quatrième dimension,» dans: François Le Lionnais, *Les Grands courants de la pensée mathématique*, nouvelle éd. augmentée, l'humanisme scientifique de demain (Paris: A. Blanchard, 1962).

عنوان المكان والزمان والجاذبية والتي يجري فيها حواراً بين «عالم فيزيائي تجريبي» و«عالم رياضي مختص في الرياضيات النظرية المحض» و«عالم يتحدث باسم نظرية النسبية».

قال العالم الفيزيائي لزميله الرياضي، وكان هذا الأخير قد صرح انه لا يستطيع أن يتصور بوضوح حقيقة الأطوال والأبعاد التي يستعملها في إنشاءاته الرياضية: «يا له من موضوع غريب! ذلك الذي تدرسونه، لقد أكدتم لنا في بداية حديثكم أنه لا يهمكم معرفة ما إذا كانت القضايا التي تستعملونها في استدلالاتكم صحيحة أم غير صحيحة، وها أنتم الآن تذهبون إلى أبعد من ذلك فتقولون انه لا يهمكم معرفة عمّا تتحدثون». فرد عليه العالم الرياضي، موافقاً تماماً على هذه الملاحظة، وقال: «ها أنت تقدم لنا تعريفاً للرياضيات النظرية، تعريفاً جيداً حقاً، وقد سبق القول به من قبل».

وبما أن الكلمة التي قدم بها إيدنغتون لكتابه تمنح لنا فرصة التعرف على رأي العالم الرياضي في البعد الرابع، فلنستغل هذه الفرصة، ولنستمع إلى هذا الأخير يتحدث عن الزمان، قائلاً: «كل ما هناك، هو أنه أصبح من الضروري اعتبار الزمان بعداً رابعاً. ان هندستكم الطبيعية تصبح، عندما تتخذ صيغة الهندسة الكاملة (= النظرية) هندسة ذات أربعة أبعاد». وهنا سأله العالم الفيزيائي قائلاً: «هل تمكنا أخيراً من الكشف عن هذا البعد الرابع الذي طالما وقع البحث عنه؟». فأجابه العالم الرياضي: «هذا يتوقف على البعد الرابع الذي تبحثون عنه. ومن دون شك، فإن ما أقصده ليس ذلك المعنى الذي تفهمونه منه. ان الأمر بالنسبة إليّ منحصر في أنه عليّ أن أضيف متغيراً رابعاً «ز» إلى المتغيرات الثلاثة، س، ص، ع، الخاصة بالمكان. أما ماذا تعنيه أو تمثله هذه المتغيرات على صعيد الواقع، فذلك ما لا يهمني إطلاقاً. فلا يهمني مثلاً إن كانت هذه المتغيرات الأربعة تعني بالتتابع: ضغط الغاز، وكثافته، ودرجة حرارته، وقصوره الحراري[2] Entropie. وعلى أية حال فإنكم لن تذهبوا إلى القول إن للغاز أربعة أبعاد، لكونكم تحتاجون إلى أربعة متغيرات رياضية من أجل تحديد «حالته»[3].

---

(٢) القصور الحراري أو الأنتروبيا اصطلاح فيزيائي يعبر عن «حالة» انتظام منظومة ما. وارتفاع الأنتروبيا معناه انتقال تلك المنظومة من حالة منتظمة إلى حالة أقل انتظاماً (كالذوبان مثلاً). لقد أصبح هذا المفهوم ضرورياً لتفسير عدم قابلية بعض التحولات للارتداد: فوقوع المطرقة على قطعة الجليد يتسبب في ذوبان جزء من الجليد ولكن تجمد الجليد لا يرفع المطرقة. وتكون الأنتروبيا ثابتة عندما يكون التحول قابلاً للارتداد، وتزداد قيمتها عندما لا يقبل ذلك. وكان العالم كلازيوس Clasius هو الذي أعطى للدالة الرياضية التالية $\frac{dq}{T}$ = s اسم انتروبيا. وتشير dq إلى كمية الحرارة اللازمة لجسم ما كي يقوم بتحول قابل للارتداد، تبقى خلاله درجة حرارته T ثابتة. (المترجم - عن: القاموس الجديد للفيزياء، بالفرنسية).

(٣) الـ «حالة» Etat اصطلاح فيزيائي يحمل معنى خاصاً. ان «حالة منظومة» ما هي «العنصر الذي بمعرفته يمكن معرفة القيم المتعلقة بهذه المنظومة» إذا عرفت حالة الغاز في لحظة معينة، أي إذا عرفت المعادلة الرياضية التي تحدد المتغيرات المشار إليها في النص (الضغط، الكثافة . . .) أمكن التنبؤ بـ «حالته» في اللحظات التالية.

وجهة نظر رجل الشارع

أما وجهة النظر الثانية التي يمكن أن نقول عنها، مع بعض التجاوز، إنها وجهة نظر رجل الشارع، فهي مختلفة تماماً عن وجهة النظر السابقة. ان رجل الشارع يستغرب مرونة فكر العالم الرياضي، فهو يريد أن يعرف ما إذا كان المكان ذو الأبعاد الأربعة موجوداً فعلاً. وعندما نجيبه بأننا نجهل ذلك، وان كل شيء يجري بالنسبة إلينا وكأنه غير موجود، يصاب بخيبة أمل. ولكنه، نظراً لعدم قدرته على النفاذ إلى جوهر المسألة، يتمادى في طرح الجوانب الثانوية، فيسأل: «وإذا كان هذا المكان ذو الأربعة أبعاد، موجوداً حقاً، ألا ترون أن تقدم العلم سيمكننا يوماً من التعرف عليه؟ وإذا فرضنا اننا لا نستطيع التعرف عليه فماذا عن الكائنات التي قد تسكن البعد الرابع؟ ما نوع الهندسة التي يستعملونها؟ ما هو بالنسبة إلينا وجه الغرابة في هذه الهندسة؟ أوَ لم يتحدث اينشتين، أو على الأقل، أولئك الذين كتبوا عن نظريته، عن بعد رابع، بل عن أبعاد أخرى فوق البعد الرابع؟».

وعلى الرغم من أن بعض هذه الأسئلة لا يكتسي أهمية كبرى، ولا قيمة علمية ذات بال، فإننا سنحاول، مع ذلك، الاجابة عنها حتى لا تخيب، كثيراً، آمال من قد يهمهم ذلك من بين قرائنا. وهذا بالضبط ما حملنا على تصدير هذه الصفحات بعنوان: «رحلة في البعد الرابع». ولكننا نفضل أن نبدأ بكلمات نقولها عن هندسة المكان ذي الأربعة أبعاد.

بديهي أنه ليس هنا مجال الحديث عن الهندسة التحليلية والكيفية التي أدرجت بها هذه الهندسة البعد الرابع في معطياتها، بسهولة فائقة. ومع ذلك لا بد من الإشارة إلى أن الهندسة التحليلية التي شيدها ديكارت تستعمل احداثيين اثنين عندما يتعلق الأمر بتحديد نقطة ما على سطح المستوى، وثلاثة احداثيات (س، ص، ع) عندما يتعلق الأمر بتحديد نقطة ما في الفراغ. وبناء على ذلك، نقول إن: أ س + ب ص + ج = 5 معادلة تحدد مستقيماً، وان: أس + ب ص + ج د + ل = 5 معادلة تحدد مستوياً. وان: $س^2 + ص^2 = ع^2$ معادلة تحدد دائرة، وان: $س^2 + ص^2 + د^2 = ع^2$ معادلة تحدد كرة. وبإمكاننا الاسترسال في تقديم أمثلة من هذا النوع. فلماذا لا نقول إذن، إن: أ س + ب ص + ج د + ل ز + و = 5 معادلة تحدد مستوى فوقياً Hyperplan، وان $س^2 + ص^2 + د^2 + ز^2 = ع^2$ معادلة تحدد كرة فوقية Hypersphère. انه يجثل هذه الطريقة المبنية على زيادة متغير اضافي تشيد هندسة البعد الرابع.

إن إضافة هذا المتغير تستلزم بطبيعة الحال إضافة إحداثي رابع نرسمه عمودياً على المحاور الإحداثية الثلاثة الديكارتية: م س، م ص، م ع، الشيء الذي يمكننا من دراسة التوازي والتعامد واللف ـ أو الدوران ـ والتناظر في هذا المكان المعمم، فنميز هكذا بين المستويات «المتعامدة باطلاق» Plans absolument perpendiculaires التي لا يربطها سوى نقطة مشتركة واحدة فقط، وبين المستويات المتعامدة بالمعنى العادي للكلمة (= التي يربط بينها مستقيم)، الشيء الذي يعني أننا أصبحنا قادرين على جعل شكل هندسي ما يدور حول مستو.

إن تعميم فكرة «الأشكال المتظمة المتعددة السطوح» Les polyédres réguliers يمكننا من التمييز في هذه الأشكال بين خمسة أصناف تسمى بـ Polédroïdes وبالتالي، دراستها بسهولة بواسطة هندسة وصفية خاصة. انه بهذه الطريقة تبين أن أحد هذه الأشكال، ويسمى L'ocrtraédroide، يحتوي على 16 قمة و24 وجهاً على شكل مربعات، و8 «خلايا» Cellules (أو حجيرات) على شكل مكعبات نجده من كل جانب، أضف إلى ذلك شكلاً آخر من هذا النوع يسمى L'héxacosédroide وهو يشتمل على 1.200 وجهاً على شكل مثلثات متساوية الأضلاع... إلخ.

إحساسنا بالمكان

لنترك جانباً هذه الدراسات التي لا تهم إلا المختصين، ولنعد إلى الحديث باللغة العادية التي يفهمها الجميع.

هناك واقعة بسيطة جداً، واضحة جداً، لا شك أن السيد دو لا باليس[4] M. de La Palice كان يعرفها، بل لا شك أنها عرفت قبله، وهي أننا لا ندرك ولا نتخيل سوى ثلاثة أبعاد في المكان. فكما أنه من الممكن تغطية مساحة ما، مهما كانت كبيرة، بمستطيلات يوضع بعضها بجانب بعض، مستطيلات متشابهة تماماً، وذات بعدين فقط، هما الطول والعرض، يمكن كذلك ملء المكان كله (أي الفضاء) بواسطة قطع من الأجُر ترصف متجاورة ويكدس بعضها فوق بعض. وكما هو معروف فإن هذه القطع لا تشتمل إلا على ثلاثة أبعاد، هي الطول والعرض والارتفاع.

لقد درست بعناية كبيرة هذه الأبعاد المكانية الثلاثة، من طرف عدد كبير من العلماء، وبالأخص منهم بوانكاريه. اننا نجد في أبحاثه، إلى جانب ملاحظات دقيقة جداً، عميقة جداً، حول معرفتنا المزدوجة للكون، معرفة بواسطة العضلات ومعرفة بواسطة البصر، نجد في أبحاثه ملاحظات أخرى ممزوجة بشيء من التهكم، مثل تلك التي تتعلق بقنوات حاسة الأذن. ومعلوم ان الأذن تشتمل على ثلاث قنوات سمعية شبه مستديرة، يقول عنها بوانكاريه، مازحاً، انها توحي لأذهاننا، بفضل التوجيه الذي تخضع له، بفكرة ثلاثة مستويات (أو سطوح) ذات إحداثيات متعامدة مثنى مثنى، وكأنها ـ أي القنوات ـ رُكبت هكذا عمداً لتكون صالحة لحاجة الرياضيين. يقول بوانكاريه: «ان الأزواج الثلاثة من القنوات السمعية تنحصر وظيفتها، كما يقول المسيو دوسيون M. de Cyon في تنبيهنا إلى أن المكان له ثلاثة أبعاد». ثم يعلق بوانكاريه قائلاً: «وبما أن الفيران اليابانية ليس لها سوى

(٤) السيد دو لا باليس ضابط فرنسي (١٤٧٠ ـ ١٥٢٥) مات في معركة جرت في «بافي» ورثاه جنوده بقصيدة منها أبيات تقول: «مات المسيو دو لا باليس، مات في بافي، وقبل موته بربع ساعة، كان ما يزال حياً». وهم يقصدون بذلك أنه كان يقاتل إلى آخر لحظة من حياته. ولكن عبارة «قبل موته بربع ساعة كان ما يزال حياً» هي من العبارات الساذجة المضحكة، مثل «السماء فوقنا». والمقصود بإيراد هذا الاسم في النص الإشارة إلى أكثر الناس سذاجة. (المترجم).

زوجين من القنوات السمعية، فلا بد وأنها تعتقد، حسب ما يبدو، ان المكان يشتمل على بعدين فقط. وهي تعبر عن اعتقادها هذا بأسلوب غريب جداً: فهي تصطف على شكل دائرة، وأنف كل منها تحت ذنب الآخر، ثم تدور بسرعة» ويبدو، علاوة على هذا، انها إذا وضعت في صحن ذي ميناء (حاشية) لتدور فيه، بهذا الشكل، لا تستطيع مغادرته قط. ويضيف بوانكاريه: «وربما ان الأسماك المعروفة بـ «الشلق» Les Lamprois لا تتوفر إلا على زوج واحد من القنوات السمعية، فلا شك أنها تعتقد ان المكان يشتمل على بعد واحد فقط، ولذلك كانت مظاهراتها اقل صخباً».

اننا نخشى أن لا يكون من اللائق منح الثقة الكاملة لبعض التأويلات التي تنطلق من بعض الوقائع التي لا شك في صحتها، ولكن يجب، مع ذلك، ان نلاحظ، بالنسبة إلى الإنسان والحيوانات العليا، ان القنوات السمعية الثلاث، شبه الدائرية، والمعروضة على ثلاث مستويات (أو سطوح) متعامدة مثنى مثنى، مرتبطة، حسب ما يبدو، بإحساسنا بالاتجاه، على الأقل، عندما يتعلق الأمر بتحديد الوضعية التي يجب ان نتخذها. أضف إلى ذلك أن بعض الأمراض التي تصيب هذه القنوات تسبب لنا الغثيان، وتفقدنا الاحساس بتوازن الجسم.

معنى البعد الرابع

يعرف الرياضيون جيداً، كما أشرنا إلى ذلك أعلاه، أن المكان كما نشاهده ونلمسه، لا يشتمل، أو على الأقل لا يكشف لنا، إلا عن ثلاثة أبعاد. ومع ذلك فهم يرون أنه من المفيد تصور مكان ذي أربعة أبعاد، بل ذي أبعاد كثيرة، لكي يسكنوا فيه «الأشياء» المزعجة التي ينسجها خيالهم.

وسواء كان المكان ذو الاربعة أبعاد موجوداً أو غير موجود، فمن الممكن، مع قليل من الإرادة والعزم، أن يتصور الإنسان «حقيقة» هذا المكان، أو أن يوحي لنفسه، وهذا يكفي عند الاقتضاء، أنه يعرف فعلاً «حقيقته». فلنوضح هذه النقطة بعض الشيء.

لنرسم مربعاً على ورقة، ولنرسم بجانبه مربعاً آخر يقع جزئياً عليه ويتجه في نفس اتجاهه، ثم لنتأمل الشكل، دون أن نحمل أنفسنا على تصور أن المربع الثاني موجود في المستوى نفسه الذي يوجد فيه الأول. انه من السهل أن نرى المربع الثاني وكأنه فوق مستوى الأول، الشيء الذي يجعلهما يبدوان وكأنهما يحددان مكعباً يُرى على الطريقة المنظورية En perspective، وستكون هذه الرؤية أكثر وضوحاً إذا نحن وصلنا بخط كل قمة في المربع الأول بالقمة المناظرة لها في المربع الثاني. هذا كله واضح، والناس جميعاً يتفقون على ذلك، إذ لا مجال للخلاف بينهم حول ما ذكرنا، ولكن البقية معقدة مع الأسف.

ومع ذلك فلنحاول. ولننظر إلى مكعب في الفراغ، وليكن مكعب لعبة النرد مثلاً، والأفضل من ذلك مكعب هيكلي صنعت أضلاعه الاثنا عشر بواسطة سلك حديدي. ولنضع

إلى جانب هذا المكعب، وعلى مقربة منه، مكعباً آخر مماثلاً له تماماً، ومتجهاً في الاتجاه نفسه، ثم لنتخيل هذا المكعب الثاني وكأنه يوجد في فضاء (مكان) غير الفضاء الذي يوجد فيه الأول، تماماً مثلما فعلنا بالنسبة إلى المربع الثاني الذي كان يبدو لنا، قبل قليل، وكأنه منفصل عن الورقة التي رسم عليها. وهكذا فإذا وصلنا بخط كل قمة من القمم الثمانية التي يشتمل عليها المكعب الأول، بالقمم المناظرة لها في المكعب الثاني، أصبح لدينا ١٢ ضلعاً زائد ١٢ ضلعاً زائد ٨ أضلاع، أي سنكون أمام مكعب متعدد السطوح Hypercube ذي اثنين وثلاثين ضلعاً، وبعبارة أخرى سنكون أمام شكل هندسي متعدد السطوح يسمى Octaédroïde مشيد في مكان ذي أربعة أبعاد.

هكذا يبدو أنه من الممكن للواحد منا أن ينمي في ذهنه، مع قليل من التعود، حدس ما يمكن أن يكون عليه البعد الرابع. وفي هذا الصدد يرى بوانكاريه انه إذا كان مثل هذا الحدس قليل الانتشار بين الناس فذلك راجع، قبل كل شيء، إلى التعقيد المتزايد بسرعة الذي يتسبب فيه استعمال بعد اضافي. ولذلك يتساءل بوانكاريه قائلاً: «ألسنا نلاحظ في المدارس الثانوية ان التلاميذ الأقوياء في الهندسة المستوية لا يستسيغون الهندسة الفراغية؟»، ولا شك أن هذا راجع بالخصوص إلى عدم التعود على استخدام البعد الثالث (الذي تستلزمه الهندسة الفراغية)، ولذلك كان لا بد من مجهود للتمكن من ذلك. ويقول بوانكاريه أيضاً: «وبالإضافة إلى ذلك، ألا نلجأ جميعاً، عندما نريد تخيل شكل ما في الفراغ، إلى تصور مختلف مناظر هذا الشكل بالتتابع؟». ان الجسم الصلب الذي سبق لنا أن شاهدناه يدور ببطء أمام أعيننا في الفضاء، والذي لاحظنا فيه، هكذا، عدداً من المظاهر والأوجه المختلفة، يرتسم في مخيلتنا فيبدو لنا، فيما بعد، كتمثل لا واقعي، ولكنه تمثل يتخذه الذهن موضوعاً له، ويستعمل عند التفكير فيه جميع الوسائل المساعدة التي يحملها البصر إلينا من الخارج.

الحيوانات المسطحة

لعل أفضل طريقة تمكننا، ولو في حدود ضيقة، من تصور ما يمكن أن يكون عليه، مكان ذو أربعة أبعاد، هي تلك التي استعملت مراراً، والتي تتلخص في مقارنة ما سيكون عليه، بالنسبة إلينا، حال حيوانات مسطحة إلى أبعد حد، تعيش على مساحة نفترض انها عبارة عن مستو غير محدود.

لنفرض أن هذه الحيوانات مشكلة من طبقة واحدة من الجزئيات Molecule تضم جميع خلاياها. وسنعود بعد قليل إلى هذه المسألة، مسألة الحجم أو الكثافة. لنقل إن هذه الحيوانات عبارة عن صفائح بروتوبلازمية(٥) Protoplasmique ذات غشاء خارجي ثابت

(٥) البروتوبلازم: المادة الحية الأساسية التي يتكون منها جسم الخلية، وهي تشتمل في الغالب على جزء متميز يسمى النواة. (المترجم).

ساكن إذا كان الأمر يتعلق بحيوانات راقية، أو غشاء يتقبض وينفتح إذا كان الأمر يتعلق بحيوانات دنيا. ولنفرض أيضاً أن هذه الحيوانات تتوفر على ذكاء مثل ذكائنا، وأنها تحيا حياة عقلية واجتماعية معقدة مثل حياتنا، وان لها حواسّ مشابهة لحواسنا، مما يجعلها قادرة على تقدير المسافات تقديراً جيداً، وادراك الحدود التي تقوم بين الحيوانات المسطحة الأخرى التي تحيط بها وتعيش معها حياة اجتماعية.

لقد استعملت فرضيات مماثلة لتوضيح المسائل المعقدة، مثل تلك المتعلقة بالهندسات اللاأوقليدية.

الهندسات المستوية اللاأوقليدية

... لكي تعطي للهندسة الريمانية المستوية[٦] كامل معناها نرى من المفيد الرجوع إلى فرضيتنا السابقة حول الحيوانات المسطحة. ولنفترض، علاوة على ما سبق افتراضه من قبل، ان هذه الحيوانات تعيش في عالم كروي الشكل، وانها لا تتخيل سوى بعدين اثنين، وهذه نقطة أساسية في موضوعنا. ان المستوى بالنسبة إلى هذه الحيوانات عبارة عن مساحة ذات بعدين (طول وعرض) والكرة عبارة عن ذلك الشعاع - شعاع الكرة - الذي تعيش عليه، والذي تستطيع أن تتنقل فيه إما إلى اليمين أو الشمال، وإما إلى الأمام أو الوراء. أما الانتقال إلى أعلى أو إلى أسفل، فشيء متعذر عليها تماماً. أضف إلى ذلك أن هذه الحيوانات لا تملك القدرة على تخيّل تقوّس «السطح» الذي تعيش فيه، أي انحنائه نحو بعد مكاني ثالث، تعجز تماماً عن تصوره.

وهنا لا بد من ابراز ملاحظة أساسية، وهي أن الكون بالنسبة إلى هذه الكائنات، القادرة على التفكير والاتيان بإنشاءات هندسية، كون لا حدود له بالرغم من أنه متناه. فمن جهة لن تصادف هذه الحيوانات في طريقها قط أية حدود تمنعها من الذهاب بعيداً بعيداً، ومن جهة أخرى فإن مساحة «المستوى» الذي تعيش عليه مساحة متناهية تشتمل على عدد ما من الكيلومترات المربعة. وبطبيعة الحال، فإن الخط المستقيم بالنسبة إلى هذه الحيوانات هو أقصر مسافة بين نقطتين، وبلغة الرياضيين، نقول ان الخطوط المستقيمة بالنسبة إليها هي الخطوط الجيوديزية Géodésiques للمستوى الذي توجد فيه. وهكذا، فما تسميه هذه الحيوانات خطوطاً مستقيمة هو بالنسبة إلينا، نحن الذين نعيش في عالم ذي ثلاثة أبعاد، عبارة عن دوائر كبرى على سطح الكرة.

وعليه، فإذا كان من غير الممكن على العموم، في هذه الهندسة، إمرار أكثر من مستقيم واحد بين نقطتين، فإن هناك، في الحالة الاستثنائية التي تكون فيها هاتان النقطتان متقابلتين

---

(٦) لم نر ضرورة لترجمة الفقرات التي عرّف فيها الكاتب باختصار بالهندسات اللاأوقليدية انطلاقاً من مشكلة التوازي. وبإمكان القارىء الرجوع إلى ما كتبناه في الفصل الثاني من هذا الكتاب. (المترجم).

على طرفي قطر الكرة، ما لا يحصى من المستقيمات، أي من انصاف الدوائر الكبرى، تربط بين النقطتين المذكورتين.

لا مجال هنا للاعتراض على هذه الفرضية، ولا لوصفها بكونها غير معقولة. فلنفترض أن الكرة المعنية هنا هي الكرة الأرضية ذاتها، الكرة الأرضية النموذجية، الملساء تماماً، والخالية من كل نتوء أو التواء، والتي يبلغ طول خطوط الزوال(٧) فيها méridiens عشرين ألف كيلومتر، في حين لا يتعدى طول حيواناتنا المسطحة جزءاً واحداً من مئة جزء من المليمتر. وحينئذ فإن الملاحظة النظرية التي تقول إن أي خطين مستقيمين على هذه الكرة لا بد أن يتقاطعا في نقطتين تبعد الواحدة منها عن الأخرى بـ 20.000 كيلومتر، أي بعد مسافة أكبر بمليوني مليون مرة من جسم تلك الحيوانات، هي - أي تلك الملاحظات النظرية - غير ذات أهمية عملية بالنسبة إلى هذه الحيوانات، ولذلك ستكون جميع أشكال الهندسية وجميع التصاميم التي يرسمها مهندسوها، مطابقة تماماً لتلك التي سنحصل عليها هذه الحيوانات، باستعمال هندسة أوقليدس (ـ التي تعتبر المكان مستوياً، لا كروياً).

ها نحن نضع أصبعنا على حقيقة هندسة ريمان، على ما تعنيه هذه الهندسة عندما تطبق على ما ندعوه نحن بالمستوي، نحن الذين نعيش في عالم ذي ثلاثة أبعاد. ان هندسة ريمان، ذات البعدين، ليست في الواقع إلا الهندسة الكروية الأوقليدية. وما يسمى في هندسة ريمان بـ «حساب المثلثات المستقيمة الأضلاع» La trigonométrie rectiligne هو ما ندعوه نحن، بـ «حساب المثلثات الكروية الأضلاع» La trigonométrie sphérique. والقول بوجود تناقض في هندسة ريمان؛ حيث تدل «الخطوط المستقيمة» و«الدوائر»، تمام الدلالة على ما تدل عليه، بالتتابع «الدوائر الكبرى» و«الدوائر الصغرى» في هندسة اوقليدس، يستلزم القول بوجود تناقض في هندسة أوقليدس نفسها، وهذا شيء لم يثبته أحد بعد. ان هذا يعني انه من المستحيل البرهنة على مسلّمة أوقليدس، وان هندسة ريمان المترية، التي لا تقبل هذه المسلّمة، لا يمكن أن تشتمل على تناقض داخلي.

بإمكاننا الآن العودة إلى هندسة لوباتشيفسكي لإثبات مشروعيتها بالكيفية نفسها، إذ يكفي أن نتصور حيواناتنا المسطحة تعيش، لا على الكرة المعروفة، بل على شكل شبه كروي Pseudosphère، أي على مساحة ذات انحناء سالب وثابت (مساحة مقعّرة).

كائنات البعد الرابع

لنعد الآن إلى حيواناتنا المسطحة، ولنفترض، هذه المرة، ان المستوى الذي تتحرك فيه هو فعلاً المستوى الأوقليدي الذي نعيش فيه نحن، غير مهتمين بما يمكن أن تكون عليه الهندسة لدى هذه الكائنات.

---

(٧) خطوط الزوال هي الدوائر الكبرى المارة من القطبين الشمالي والجنوبي والمتعامدة مع خط الاستواء.

لقد أشرنا قبل قليل إلى أن هذه الحيوانات لا تعرف البعد الثالث، أي لا تستطيع التحرك، لا إلى فوق، ولا إلى تحت. ويتبع من هذا أنه إذا وضعنا أصبعنا على عالمها، أو أنزلنا فيه خيطاً أو شعرة. . . الخ، فإنها ستفاجأ مفاجأة مذهلة، وتعتبر ذلك حادثاً خارقاً للعادة. وهذا يرجع إلى أنها لا تعرف للجسم معنى (لأن الجسم يتطلب الطول والعرض والارتفاع، وهي لا تعرف الارتفاع) ولا يخضع عالمها لمبدأ حفظ المادة إلا بقدر ما نريد نحن، أي بقدر ما نمسك عن إقحام أي شيء فيه أو انتزاع أي شيء منه.

وهكذا، فإذا فرضنا أن أحد أفراد هذه الكائنات قد أخفى كنزاً في صندوق حديدي أحكم اغلاقه، فيكفينا للحصول على الكنز أن نمد إليه يدنا، وهي توجد في مكان ذي ثلاثة أبعاد. وهيهات أن يعرف رجال المخابرات، لدى هذه الكائنات، الطريقة التي تمت بها السرقة.

وبالمثل، فإذا كان هناك بعد رابع، وكانت هناك كائنات تعيش فيه، فإن هذه الأخيرة ستكون بالنسبة إلينا غير مرئية وغير موجودة. انها ستكون غريبة جداً بالنسبة إلى ما نستطيع معرفته، وذلك إلى درجة أننا سنكون غير قادرين على تصورها، وفهم حقيقتها. سيكون بإمكان هذه الكائنات أن تشد على آذاننا شداً يؤلمنا دون أن نتمكن من رؤية أصابعها، وإذا حدث أن تمكن أحدنا من مدّ يده نحو هذا البعد الرابع الذي تعيش فيه هذه الحيوانات، فإنها (أي اليد) ستختفي تماماً وتصبح أثراً بعد عين. وفي هذا الصدد يحكي الكاتب الفكاهي باولوومكي Pawlowski في كتابه رحلة إلى بلاد البعد الرابع كيف أن بطل قصته لاحظ أن لديه قدرة على التنقل في فضاء مجهول. لقد أخفى هذا البطل، في صندوق حديدي، رسائل الحب والغرام، عاقداً العزم على عدم الكشف عن أمرها، فأغلق الصندوق بالمفتاح، وأحاطه بشريط ختمه بالشمع الأحمر، ولكنه عاد بعد لحظات، وقد استولى عليه الهوس بسبب شكّه في أنه لم يضع رسالة غرامية معينة في الصندوق. وبدون أن يفكر في الأمر مدّ يده إلى داخل الصندوق وأخذ الرسائل وتصفحها فوجد الرسالة المشكوك فيها، فاطمأن وأعادها مع باقي الرسائل إلى الصندوق. وبينما هو يهمّ بالانصراف استيقظ من غفلته، ولشد ما كانت دهشته عظيمة عندما لاحظ أن الصندوق قد ظل مقفلاً، وان خاتم الشمع الأحمر لم يمس. لقد أخرج الرسائل من الصندوق وأعادها إليه دون أن يفتح الصندوق!

نعم، يمكنك أيها القارىء، ويمكنني انا أيضاً، أن تقول إن هذا الرجل كان يحلم. ولكن كاتب القصة يستخلص من هذه الحادثة النتيجة التالية، قال: «إنه بهذه الطريقة أدرك بطله ان بإمكانه التنقل في البعد الرابع. . .».

٢ ـ مشكل المتصل[1]

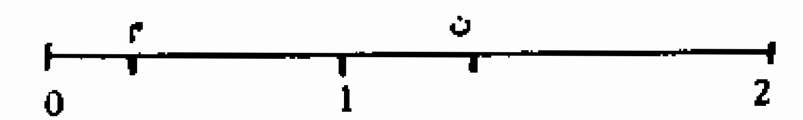
يعالج هذا النص مشكل الاتصال الهندسي، أي التجزئة إلى ما لا نهاية له، مستعيناً بأمثلة واضحة بسيطة، علاوة على أنه يلقي الأضواء على الكسور غير العشرية، وطريقة التحويل من نظام كسري إلى نظام كسري اخر. وهدف المؤلف إشعار القارىء بصعوبة الوصف الدقيق المتصل للظواهر الطبيعية، خاصة على المستوى الميكروفيزيائي. والنص في الأصل جزء من محاضرة حول السببية في العلم. وبما أننا سنعالج هذا الموضوع في الجزء الثاني من هذا الكتاب، فقد اقتصرنا على ترجمة الفقرات التي تطرح مشكل الاتصال الهندسي على صعيد الرياضيات.

«. . . لقد استطاع الفيزيائيون أن يحددوا بوضوح كبير، استناداً إلى خبراتنا العادية وتصورنا للهندسة والميكانيكا، خاصة ميكانيكا الأجرام السماوية، الشرط الضروري الذي لا بد منه في كل وصف دقيق وشامل للظواهر الفيزيائية: ان كل وصف من هذا النوع يجب أن يكون قادراً على أن يطلعنا، بكيفية دقيقة، على ما يجري في كل نقطة، وخلال كل لحظة من الزمان ـ وبطبيعة الحال ـ داخل المجال المكاني والمدة الزمنية اللذين تجري فيهما الحوادث الفيزيائية التي نتحدث عنها. وبإمكاننا أن نطلق على هذا الشرط اسم: مسلمة الاتصال، اتصال الوصف. انها مسلمة من الصعب تحقيق مضمونها، الشيء الذي يجعل تصورنا للاتصال ناقصاً يعاني ثغرات، إذا صح التعبير.

من جملة الأفكار التي ألفناها تماماً فكرة «جميع الأعداد الموجودة بين 0 و1» أو «جميع الأعداد الموجودة بين 0 و2». ونحن نمثل لها هندسياً بالمسافتين اللتين تفصلان نقطة «م» من جهة ونقطة «ن» من جهة ثانية، عن نقطة «0» كما في الشكل التالي (نقطة «م» تتحرك بين 0 و1 وتمثل جميع الأعداد المحصورة بينهما. ونقطة «ن» تتحرك بين 0 و2 وتمثل جميع الأعداد المحصورة بينهما كذلك).

---

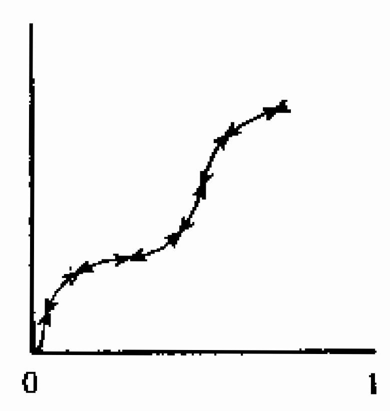
(1) Erwin Schrödinger, *Science et humanisme: La Physique de notre temps* (Belgique: Desclée de Brower, 1954), pp. 53 - 73.



ومن بين النقط الموجودة في هذا الجزء من المستقيم (المحصور بـ 0 و2) هناك نقطة تمثل العدد $\sqrt{2}$ (= 1,414...). ونحن نعرف أن الأعداد التي من هذا النوع (= الأعداد الصماء) قد أقضّت مضجع فيثاغورس وأصحابه إلى درجة الإنهاك الشديد. ويجب أن لا يحملنا اعتيادنا، منذ طفولتنا الأولى، لمثل هذه الأعداد الغريبة، على الحط من قيمة الحدس الرياضي الذي كان لهؤلاء الحكماء القدامى. ان انزعاجهم من هذه الأعداد شيء يشرفهم جداً، انه يعبر عن شعورهم بأنه من غير الممكن ايجاد كسر يكون مربعه مساوياً تماماً للعدد 2. وبالفعل، فنحن لا نستطيع ايجاد هذا الكسر، وكل ما يمكننا الحصول عليه هو كسور تقترب بنا من العدد 2، ولكن دون بلوغه بتمامه. من ذلك، مثلاً الكسر التالي $\frac{17}{12}$ الذي مربعه هو $\frac{289}{144}$ وهو يقترب كثيراً من $\frac{288}{144}$ أي من العدد 2. وبامكاننا الاقتراب أكثر فأكثر من العدد 2 باستعمال كسور تتألف من أعداد أكبر من 17 و12. ولكننا لن نبلغ قط العدد 2 بتمامه.

ان مفهوم ميدان المتصل، وهو مفهوم رائج عند الرياضيين اليوم، ينطوي على تصور غريب جداً، تصور ناتج من تعميم فكرة المتصل بشكل يتجاوز كثيراً حدود ما هو في متناولنا. وانها لجرأة كبيرة حقاً، أن يعمد المرء إلى تجاوز حدود التعميم المشروع، فيدّعي أن بإمكانه الحصول عملياً على مختلف القيم الحقيقية التي يتحدد بها مقدار فيزيائي ما في كل نقطة من نقط ميدان المتصل، سواء كان ذلك المقدار يتعلق بتحديد درجة الحرارة، أو الكثافة أو القوة الكامنة، أو قيمة المجال أو أي مقدار آخر، كأن يقول مثلاً: إن بإمكانه تحديد جميع القيم التي يمكن اعطاؤها لذلك المقدار عندما يتحرك بين الصفر والعدد 2.

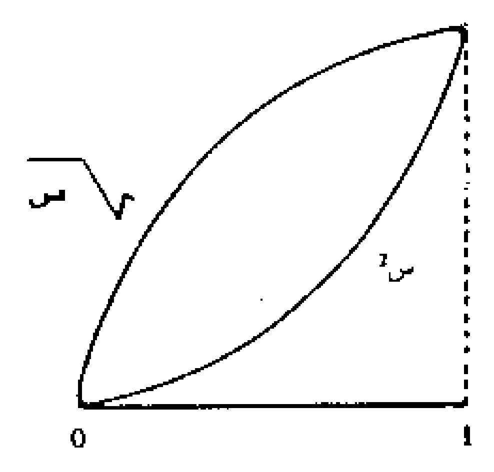
والواقع ان كل ما نستطيع فعله في هذا الشأن هو القيام بتحديد تقريبي لقيمة المقدار موضوع البحث، بواسطة عدد محدود من النقط ثم «إمرار منحنٍ متصل يربط بين هذه النقط» كما في الشكل التالي:



إن هذه الطريقة (طريقة الرسم البياني) طريقة صالحة، ما في ذلك شك. فهي تكفي في حل المشاكل العملية. ولكن عندما ننظر إليها من وجهة النظر الابيستيمولوجية، من زاوية نظرية المعرفة، فإننا سنجد أنفسنا بعيدين جداً عن الوصف المتصل الدقيق الذي نزعم أن بإمكاننا القيام به.

ولعل ما يقوي أملنا في الحصول على تصور تام للمقادير المتصلة، كون علماء الرياضيات يدعون أنهم قادرون على ايجاد القيم المتصلة الخاصة ببعض إنشاءاتهم الذهنية البسيطة. ولبيان ذلك نعود من جديد إلى مثالنا السابق: لتكن «س» رمزاً للمقدار الذي يتحرك بين الصفر والعدد 1، ولنفرض أن لدينا فكرة واضحة عن $\sqrt{2 س}$ وعن $س^2$. فإذا قمنا بإنشاء الرسم البياني لقيم كل من $\sqrt{2 س}$ و$س^2$، كان لدينا الشكل التالي، وهو عبارة عن جزئي قطع مكافيء يناظر أحدهما الآخر.

إن حصولنا على هذا الرسم يدفعنا إلى الاعتقاد بأننا نستطيع فعلاً تحديد كل نقطة في هذين المنحنين تحديداً دقيقاً. وبعبارة أدق، يقول الرياضيون: إذا عرفت المسافة الأفقية (الاحداثي السيني) أمكن تحديد الارتفاع (الاحداثي الترتيبي) وتحديد قيمته تحديداً يزداد دقة بقدر ما نريد.



لنفحص عن قرب العبارتين الآتيتين، وقد وردتا في الجملة السابقة: مهاذا نعنيه بقولنا: «إذا عرفت المسافة»، وماذا نقصده بقولنا: «تحديداً يزداد دقة بقدر ما نريد». ان معنى العبارة الأولى هو التالي: «إننا نستطيع تقديم الجواب عندما تطرح المسألة»، الشيء الذي يعني أننا لا نستطيع تحديد جميع الأجوبة قبل ظهور المسألة المطروحة. أما العبارة الثانية فهي تدل على ما يلي: «وحتى في هذه الحالة، فإننا لا نستطيع تقديم جواب دقيق دقة مطلقة». فلا بد هنا من تحديد الدقة المطلوبة، كأن نطلب مثلاً جواباً دقيقاً إلى حدود الجزء من الألف (أي جواباً تبلغ دقته 999 في ألف). وبإمكان الرياضي أن يمدنا بهذه الدقة إذا تركنا له الوقت اللازم.

نعم ان العلاقات الفيزيائية يمكن تحديدها دوماً بكيفية تقريبية بواسطة دوال بسيطة من هذا النوع (ويسميها الرياضيون دوال «تحليلية»)، الشيء الذي يعني ـ تقريباً ـ انها قابلة «لأن تحلل». ولكن التأكيد بأن العلاقة الفيزيائية تتمثل فعلاً في هذه الصورة البسيطة، خطوة ابيستيمولوجية جريئة، ولربما غير مقبولة.

ومع ذلك، فإن الصعوبة الذهنية الرئيسية، في هذا المجال، تتمثل في ذلك العدد الهائل من «الإجابات» التي يمكن أن تطلب، نظراً للعدد الهائل من النقط التي يشتمل عليها جزء متصل: فعدد النقط المحصورة مثلاً بين 0 و1 كبير جداً إلى حد يبعث على الدهشة. إنه من الكبر إلى درجة أننا لا نكاد ننقص منه شيئاً عندما ننزع منه «جميع النقط تقريباً». وهنا استسمحكم توضيح هذه المسألة لمثال غني بالدلالة.

لننظر من جديد إلى جزء المستقيم المحصور بين 0 و1، كما في الشكل. ولنحاول التعرف على مجموعة النقط التي تبقى عندما نزيل منه مجموعات من النقط.

لننزل من هذا الجزء من المستقيم ثلثه الأوسط، بما في ذلك النقطة التي تحد هذا الثلث من اليسار. ان هذا يعني ان علينا أن ننزع منه جميع النقط المحصورة بين $\frac{1}{3}$ و $\frac{2}{3}$ (تاركين نقطة $\frac{2}{3}$)، كما في الشكل أدناه. ولننزع، أيضاً، من كل واحد من الثلثين الباقيين ثلثه الأوسط بما في ذلك النقطة التي تحده من اليسار تاركين النقطة التي تحده من اليمين. ولنفعل نفس الشيء بالنسبة إلى الباقي وهو أربعة اتساع ($\frac{4}{9}$)، وهكذا..

$$0 \quad \frac{1}{9} \quad \frac{2}{9} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{2}{3} \quad \frac{7}{9} \quad \frac{8}{9} \quad 1$$

فإذا حاولتم، فعلاً، تكرار هذه العملية، ولو مرات محدودة، فسيكون لديكم سريعاً انطباع بأنه «لم يبق شيء». تماماً مثلما سيحدث لو أن محصل الضرائب فرض عليكم ضريبة مقدارها 6.8 سم عن كل درهم في مرتبكم، ثم 6.8 عن كل درهم من الباقي.. وهكذا إلى ما لا نهاية له.

لنحلل الآن هذا المثال، وستلاحظون باندهاش أن انطباعكم ذلك لا يعكس الحقيقة، لأن ما يبقى بعد عمليات انتزاع الثلث الأوسط حتى ولو تكررت أكبر عدد ممكن من المرات، سيكون عبارة عن عدد هائل جداً من النقط. ولبيان ذلك سنضطر إلى التمهيد له بما يلي:

انكم تعرفون ان الأعداد الواقعة بين الصفر والواحد، هي أعداد كسرية أقل من الوحدة. ونعبر عنها، عادة، بالكسور العشرية[٢]، مثل ...470802و0، ولا شك أنكم تعرفون ان هذا الكسر يعني:

---

(٢) من الضروري أن يستحضر القارىء في ذهنه الأساس الذي تقوم عليه الكسور العشرية المستعملة، اي المبنية على النظام العشري. والمعلم الابتدائي يشرح لتلامذته هذا الكسر ...0,470802 كما يلي: الصفر يمثل=

$$\frac{4}{10} + \frac{7}{10^2} + \frac{0}{10^3} + \frac{8}{10^4} \qquad + \ldots +$$

وإذا كنا نتخذ العدد عشرة أساساً للتجزئة (= النظام العشري)، فليس ذلك سوى حادث عرضي، مرجعه إلى أننا نمتلك 10 أصابع. (يتعلم الطفل العد باستعمال أصابعه، وكذلك الشأن بالنسبة إلى الشعوب البدائية. (المترجم)). وبإمكاننا أن نستعمل أي عدد آخر مكانه، مثل: 8 أو 12 أو 3، أو 2... فنتخذه أساساً للتجزئة. وإذا فعلنا ذلك، فسنحتاج بطبيعة الحال، إلى رموز مختلفة (= أرقام) نستعملها للتعبير عن جميع الأعداد التي تقودنا من الصفر إلى العدد الذي اخترنا اعتباره «أساساً» للتجزئة والتضعيف. ومعلوم أننا نحتاج إلى 10 رموز (أرقام) في النظام العشري هي 0، 1، 2، 3... 9. فإذا استعملنا مثلاً نظاماً اثني عشرياً (أساسه العدد 12) اضطررنا إلى رمزين آخرين هما 10، و11. وأما إذا اخترنا نظاماً ثمانياً (أساسه 8) فسنحتاج فقط إلى الأرقام السبعة الأولى (من 0 إلى 7). أما الرقمان 8 و9 فسيكونان زائدين عن حاجتنا.

وتسمى هذه الكسور التي لا تتخذ العشرة أساساً لها كسوراً غير عشرية. وما زال بعضها يستعمل في بعض المجالات. فالكسور الاثنينية، أي تلك التي تتخذ العدد 2 أساساً لها، منتشرة جداً، خاصة في بريطانيا. لقد طلبت يوماً من الخياط الذي أتعامل معه، وهو انكليزي، أن يخبرني عن مقدار الثوب الذي يكفيني لصنع سروال. فأجاب: ياردة واحدة وثلاثة أثمان ($\frac{3}{8}$)، الشيء الذي أدهشني.

غير أن الدهشة تزول تماماً عندما تتذكر أن الخياط الانكليزي يستعمل الكسور الاثنينية، لا الكسور العشرية. فالمقدار الذي طلبه مني وهو ياردة و $\frac{3}{8}$ عبارة عن كسر اثنيني[3] قيمته: 1,011 وهو يعني:

$$1 + \frac{0}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \cdots$$

= دار الوحدات وهي فارغة، والعدد 4 يمثل أربعة أجزاء من الوحدة إذا قسمت على عشرة (دار العشرات) والعدد 7 يمثل سبعة أجزاء من الوحدة إذا قسمت على مائة (دار المئات) وهكذا دار الألوف وعشرات الألوف... الخ. والجدير بالملاحظة ان النقط الموجودة على يمين ذلك العدد الكسري تعني أنه غير محدود، إذ يمكن الاسترسال فيه إلى ما لا نهاية له... (المترجم).

(٣) الكسور الاثنينية كسور تعتمد التجزئة على اثنين ومضاعفاتها كما تعتمد الكسور العشرية التجزئة على عشرة ومضاعفاتها، وهكذا فبدلاً من دار الوحدات ودار العشرات... الخ نعتمد في الكسور الاثنينية دار الوحدات، ودار نصف الوحدة ودار نصف نصف الوحدة (أي الربع) ودار نصف نصف نصف الوحدة (أي الثمن). ومن هنا يتضح أن: ياردة واحدة و ـ تعني 1 في دار الوحدات و0 في دار النصف و1 في دار الربع و1 في دار الثمن. وبما أن الربع يساوي ثمنين، وإذا أضفناه إلى الثمن الآخر كان لدينا ثلاثة أثمان. (المترجم).

وبالطريقة نفسها تحدد بعض أسواق البورصة قيم الأسهم. وهكذا فبدلاً من الشلنغ Shilling والبنس Pence تستعمل الكسور الاثنينية للجنيه مثل $\frac{13}{16}$ الشيء الذي يعني 0,1101، أي:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{0}{8} + \frac{1}{16}$$

وكما هو واضح من هذين المثالين فإننا في الكسور الاثنينية لا نستعمل من الأعداد سوى 0 و1. (البسط في الكسر الاثني يكون دوماً إما 0، وإما 1، المقام فهو 2 ومضاعفتها).

وإذا عدنا الآن إلى مثالنا السابق (= الخط الذي ننزع منه ثلثه الأوسط ثم الثلث الأوسط من كل من الثلثين الباقيين وهكذا)، وجدنا أنفسنا في حاجة إلى كسور ثلاثية، وهي كسور تتخذ العدد 3 أساساً لها، ولا يستعمل فيها من الأعداد سوى 0، 1، 2. فالعدد 0,2012... في النظام الكسري الثلاثي يدل على:

$$\frac{2}{3} + \frac{0}{9} + \frac{1}{27} + \frac{2}{81} + ...$$

(لنذكر هنا اننا نشير بالنقط... التي نضيفها إلى آخر الكسور إلى أن التجزئة (أي الكسر) يمكن أن تستمر بهذا الشكل إلى ما لا نهاية له، كما هو الشأن مثلاً في الجذر التربيعي للعدد 2).

لنعد الآن إلى المشكلة التي طرحناها آنفاً، ولنحاول تحديد المجموعة «الفارغة تقريباً» التي تتكون من النقط التي تظل قائمة في جزء المستقيم بعد أن ننزع منه ثلثه، ثم ثلث الثلث من الجهتين، كما أشرنا إلى ذلك قبل (انظر الشكل السابق)، وبناء على ما قلناه بصدد الكسور الثلاثية، نستطيع الآن أن ندرك، بقليل من الانتباه، ان النقط التي انتزعناها من جزء المستقيم تندرج تحت التصور المبني على النظام الكسري الثلاثي، أي أنها تشتمل على العدد 1، على الأقل مرة واحدة. والواقع اننا بانتزاع الثلث الأوسط من جزء المستقيم نكون قد حذفنا منه جميع النقط التي يعبر عنها بالأعداد التي تبتدىء في النظام الكسري الثلاثي بـ... 0,1. وعندما ننزع منه، في المرحلة الثانية، الثلث الأوسط من كل من الثلثين الباقيين نكون قد حذفنا منه جميع النقط التي يعبر عنها بالأعداد التي تبتدىء في النظام الكسري الثلاثي إما بـ... 0,01 وإما بـ 0,21، وهكذا.

إن هذا يعني أن هناك أعداداً أخرى تظل قائمة. انها جميع الأعداد التي لا تشتمل، في النظام الكسري الثلاثي، على العدد 1، بل تشتمل فقط على العددين 0 و2 مثل: ... 0,22000202 (والنقط... الموضوعة على يمين الرقم تشير إلى استمرار تسلسل هذا الرقم بواسطة تكرار 0 و2).

وواضح ان الأعداد التي تعبِّر عن النقط التي تحد المقادير المنتزعة تندرج هي الأخرى

ضمن الأعداد الباقية (مثل 0,2 الذي يساوي $\frac{2}{3}$ و0,22 الذي يساوي : $\frac{2}{3} + \frac{2}{9} = \frac{8}{9}$)، وكنا قد نبهنا قبل إلى أننا سنحتفظ بهذه الأعداد)، وبالإضافة إلى هذا، هناك أعداد أخرى كثيرة تظل باقية مثل الكسر الثلاثي الدوري 0,20 الذي يدل على 0.20202020 وهكذا إلى ما لا نهاية له. وتلك سلسلة تكتب كما يلي:

$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3^3} + \frac{2}{5^5} + \frac{2}{7^7} + \cdots$$

من السهل ايجاد قيمة هذه السلسلة وذلك بضربها في مربع العدد 3 أي في 9. وبذلك يصبح الحد الأول منها (أي $\frac{2}{3}$) مساوياً لـ $\frac{18}{3}$ أي 6، في حين تكرر الحدود التالية، السلسلة الأصلية نفسها. ومعنى ذلك أن ثماني مرات سلسلتنا هذه تساوي 6 (عندما ضربنا $\frac{2}{3}$ في 9 أضفنا في الحقيقة $\frac{2}{3}$ إلى نفسه ثماني مرات). (المترجم)،ومن ثمة، فإن القيمة المطلوبة هي $\frac{6}{8}$ أو $\frac{3}{4}$.

غير أنه إذا تذكرنا ان المقادير التي انتزعناها من جزء المستقيم تكاد تشمل جميع النقط المحصورة بين 0 و1 (نظراً لتكرار عملية انتزاع الثلث الأوسط) ملنا إلى الاعتقاد بأن المجموعة الباقية ستكون مجموعة «ضئيلة جداً». وهنا بالضبط نصطدم مع واقع مدهش، وهو أن هذه المجموعة الباقية، هي بمعنى ما من المعاني، لا تقل امتداداً (أي كبراً) عن المجموعة الأصلية. ذلك لأننا نستطيع أن نقيم بين عناصرها وعناصر المجموعة الأصلية، علاقة تناظرية (علاقة واحد بواحد)، دون اهمال أي عنصر سواء في هذه المجموعة أو تلك. إنه لشيء مدهش حقاً. ولا شك أن كثيراً من القرّاء سيتهمون أنفسهم بعدم الفهم، على الرغم من أنني اجتهدت في أن يكون كلامي واضحاً بقدر الإمكان. فكيف أمكننا الوصول إلى هذه النتيجة؟

من السهل علينا الآن الإجابة عن هذا السؤال. فالمجموعة الباقية تمثل جميع الكسور الثلاثية الباقية التي تشتمل فقط على 0 و1. والمثال العام الذي قدّمناه سابقاً وهو 0,22000202.. (مع الانتباه دوماً إلى أن النقط الموجودة على يمين الرقم تشير إلى استمرار العدد إلى ما لا نهاية له دون أن يشتمل إلا على 0 و2) هو كسر ثلاثي يمكن ربطه، بواسطة علاقة واحد بواحد، بالكسر الاثنيني التالي: 0,11000101.. وهو كسر نحصل عليه باستبدال العدد 2 في الكسر السابق بالعدد 1.

وبالعكس فإذا انطلقنا من كسر اثنيني، مهما كان، واستبدلنا فيه العدد 1 بالعدد 2، فإننا سنحصل على الصياغة الكسرية الثلاثية التي تحدد عدد عناصر ما أسميناه بـ «المجموعة الباقية». وبما أن جميع عناصر المجموعة الأصلية، أي جميع الأعداد المحصورة بين 0 و1 يمكن التعبير عنها بواسطة كسر اثنيني واحد وعدد بدقة، فإن ذلك يعني اننا نستطيع إقامة تناظر واحدي (علاقة واحد بواحد) يربط بين جميع عناصر المجموعتين.

ولعله من المفيد ايضاح هذا التناظر الواحدي بأمثلة أخرى. من ذلك أن العدد الاثنيني الذي استعمله الخياط، في المثال السابق، وهو:

$$0,011 = \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{0}{2} + \frac{3}{8}$$

يؤدي بنا إلى العدد الثلاثي الناظر له وهو:

$$0,022 = \frac{8}{27} + \frac{2}{27} + \frac{2}{9} + \frac{0}{3}$$

إن هذا يعني أن العدد $\frac{3}{8}$ المنتمي إلى المجموعة الأصلية قد دخل في علاقة واحد براحد مع العدد $\frac{8}{27}$ المنتمي إلى المجموعة الباقية.

وبالعكس فإن العدد الثلاثي 0,20 [4]، الذي يدل، كما أشرنا إلى ذلك سابقاً، على الكسر $\frac{3}{4}$ يناظر العدد الاثنيني 0,10 الذي يمثل السلسلة اللانهائية الآتية:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \frac{1}{2^4} + \frac{1}{2^5} \cdots$$

فإذا ضربنا هذه السلسلة في مربع العدد 2، أي في 4، حصلنا على: 2 + السلسلة نفسها. وبعبارة أخرى فإن هذه السلسلة إذا أضيفت لنفسها ثلاث مرات كان الناتج هو 2، ومن ثمة فإن السلسلة نفسها تساوي $\frac{2}{3}$. إن هذا يعني أن العدد $\frac{3}{4}$ من المجموعة الباقية قد جعل مناظراً (أي مرتبطاً بعلاقة واحد بواحد) مع العدد $\frac{2}{3}$ من المجموعة الأصلية).

إن ما يثير الانتباه بخصوص «المجموعة الباقية» هو أنه على الرغم من أنها لا تشتمل على مقدار قابل للقياس، تملك، مع ذلك، الامتداد والاتساع نفسه الذي يملكه أي مقدار من مقادير ميدان المتصل. وتعبر اللغة الرياضية عن هذا بالقول: إن هذه المجموعة ما زالت لها «قوة» المتصل على الرغم من أنها من حيث القياس تساوي لا شيء.

لقد عرضت عليكم هذا المثال حتى تدركوا ان هناك شيئاً ما خفياً في المتصل، وانه ينبغي أن لا تندهش كثيراً إذا ما عانينا الاخفاق عندما نحاول استعماله لتحديد ظواهر الطبيعة تحديداً دقيقاً.

---

(٤) العدد 0,20 يدل على عدد متسلسل يتكرر فيه إلى ما لا نهاية له العدد 20، وكذلك الشأن بالنسبة إلى العدد 0,10 فهو يدل على تكرار 10 إلى ما لا نهاية له. (المترجم).

٣ ـ الرياضيات والمنطق

برتراند راسل

ندرج في ما يلي نصاً لبرتراند راسل يشرح فيه وجهة نظره في العلاقة بين الرياضيات والمنطق. (راجع الفصل الثالث الفقرة الثالثة: أ. من هذا الكتاب).

هذا، والنص الذي ندرجه هنا هو الفصل الخامس والأخير من كتابه: مقدمة للفلسفة الرياضية الذي ترجمه إلى العربية د. محمد مرسي أحمد، (القاهرة: مؤسسة سجل العرب، ١٩٦٢). وقد اعتمدنا الترجمة نفسها.

وكانت الرياضة والمنطق تاريخياً نوعين من الدراسة متميزين تماماً، فقد ارتبطت الرياضة بالعلم، والمنطق باللغة اليونانية. ولكن كليهما تطور في الأزمنة الحديثة، فأصبح المنطق أكثر رياضياً، والرياضة أكثر منطقية، مما ترتب عليه استحالة وضع خط فاصل بينهما، إذ الواقع ان الاثنين شيء واحد. والخلاف بينهما كالخلاف بين الصبي والرجل، فالمنطق شباب الرياضيات، والرياضيات تمثل طور الرجولة للمنطق. هذه الوجهة من النظر ينكرها المناطقة الذين أنفقوا عمرهم في دراسة النصوص القديمة حتى أضحوا عاجزين عن تتبع شيء من الاستدلال الرمزي، كما ينكرها الرياضيون الذين تعلموا صنعة فنية دون أن يجهدوا أنفسهم في البحث عن معناها أو تسويغها. ومن حسن الحظ ان كلا الصنفين في سبيلها الآن إلى أن يصبحا أندر. لقد أصبح من الواضح أن كثيراً من البحث الرياضي الحديث يقع على محيط المنطق، كما أن كثيراً من المنطق الحديث رمزي وصوري، مما جعل العلاقة الوثيقة بين المنطق والرياضيات جلية لكل طالب متعلم. والدليل على تطابقهما أمر يحتاج بالطبع إلى تفصيل: فنحن إذا بدأنا من مقدمات قد نسلّم كلياً أنها تنتمي إلى المنطق، وانتهينا بالاستنتاج إلى نتائج من الواضح أنها تنتمي إلى الرياضيات، رأينا أنه ليس ثمة خط فاصل يمكن رسمه بحيث يوضع المنطق على شماله والرياضيات على يمينه. وإذا كان هناك من لا يزالون لا يسلّمون بالتطابق بين المنطق والرياضيات، فإننا نتحداهم أن يبينوا لنا عند أية نقطة في

التعاريف والاستنتاجات المتتالية الموجودة في «مبادىء الرياضيات»، يعتبرون المنطق ينتهي عندها والرياضيات تبدأ منها. وسيتضح عندئذ أن أي جواب لا بد أن يكون تحكمياً تماماً.

وفي الأبواب المتقدمة من هذا الكتاب ابتدأنا بالأعداد الطبيعية، فعرفنا أولاً «العدد الأصلي»، وبيّنا كيف نعمّم التصور عن العدد، ثم حللنا بعد ذلك التصورات الداخلة في هذا التعريف حتى رأينا أنفسنا نبحث في أساسيات المنطق التي تأتي أولاً في دراسة تركيبية استنتاجية، أما الأعداد الطبيعية فإنما نصل إليها بعد شوط طويل من الدراسة. وهذه الدراسة مع أنها أصح صورياً من تلك التي اصطنعناها، أصعب بكثير على القارىء، لأن التصورات والقضايا المنطقية التي منها تبدأ بعيدة غير مألوفة بالموازنة مع الأعداد الطبيعية. وأيضاً فإن هذه التطورات والقضايا تمثل من المعرفة حدودها الخاضرة التي لا يزال ما وراءها غير معروف، ولا يزال ميدان المعرفة القائم عليها غير آمن.

وقد جرت العادة على القول بأن الرياضيات هي علم «الكم». ولفظة «الكم» مبهمة، ولكنا من أجل المناقشة سنستبدل بها لفظة «العدد». والقول بأن الرياضيات هي علم العدد غير صادق من جهتين مختلفتين. فمن جهة هناك فروع للرياضيات معترف بها ليس لها شأن بالعدد - كالهندسة التي لا تستخدم الاحداثيات أو القياس، مثلاً: الهندسة الاسقاطية والوصفية إلى النقطة التي تدخل عندها الاحداثيات، لا شأن لها بالعدد، ولا حتى بالكمية بمعنى الأكبر والأصغر. ومن جهة أخرى عن طريق تعريف الأعداد الأصلية، وعن طريق نظرية الاستقراء والعلاقات السلفية، وعن طريق النظرية العامة للمتسلسلات، وعن طريق تعاريف العمليات الحسابية، أصبح من الممكن تعميم كثير مما جرينا على اثباته فقط بصلته بالأعداد. والنتيجة أن ما كان من قبل الدراسة الموحدة للحساب، أصبح الآن منقسماً إلى عدد من الدراسات المنفصلة لا واحد منها على صلة خاصة بالأعداد. إن الخواص الابتدائية جداً للأعداد تعنى بعلاقات واحد بواحد والتشابه بين الفصول. والجمع يعنى بتركيب الفصول المتباعدة في ما بينها كل منها شبيه بمنظومة من الفصول غير المعروف أنها متباعدة في ما بينها. والضرب ممتزج بنظرية «الانتخابات»، أي بنوع معين من علاقات واحد بكثير. والتناهي ممتزج بالدراسة العامة للعلاقات السلفية التي ينشأ عنها كل نظرية الاستقراء الرياضي. والخواص الترتيبية لشتى أنواع متسلسلات العدد، وعناصر نظرية اتصال الدوال ونهايات الدوال يمكن تعميمها بحيث إنها لم تعد تتطلب تدخل أي رجوع أساسي للأعداد، ومن المبادىء الجارية في كل استدلال صوري أن تعمم إلى أقصى حد، إذ بذلك نضمن أن يكون لعملية معينة من الاستنتاج نتائج أوسع تطبيقاً. نحن اذن بتعميم الاستدلال في الحساب، هذا التعميم، إنما نتبع مبدأ مسلّماً به تسليماً كلياً في الرياضيات. ولقد ابتدعنا في الواقع بهذا التعميم مجموعة من أنظمة استنتاجية جديدة ذاب فيها الحساب وتوسع في آن واحد، ولكن أي نظام من هذه الأنظمة الاستنتاجية الجديدة - مثال ذلك نظرية الانتخابات - يجب أن يقال انه ينتمي إلى المنطق أو إلى الحساب مسألة تحكمية تماماً ونعجز عن تقريرها عقلياً.

بذلك نواجه هذا السؤال وجهاً لوجه: ما هذا الموضوع الذي قد يسمى بغير تفرقة إما رياضة وإما منطقاً؟ أهناك أية طريقة يمكن بها أن نعرفه؟

هناك خصائص معينة لهذا الموضوع واضحة. ولنبدأ بقولنا إننا لا نبحث في هذا الموضوع الأشياء الجزئية أو الخواص الجزئية، بل نبحث صورياً في ما يمكن أن يقال عن أي شيء أو أي خاصة. اننا على استعداد للقول بأن واحداً وواحداً اثنان، لا أن سقراط وأفلاطون اثنان، لأنه في حدود طاقتنا كمناطقة أو رياضيين لم نسمع أبداً عن سقراط وأفلاطون. والعالم الذي يخلو من مثل هذين الشخصين لا يزال عالماً فيه واحد وواحد اثنان. وليس من المباح لنا كرياضيين أو مناطقة بحث ذكر أي شيء بتاتاً، لأننا إذا فعلنا ذلك أدخلنا شيئاً غريباً، وليس صورياً. ونستطيع توضيح هذا الأمر بتطبيق ذلك على حالة القياس. فالمنطق التقليدي يقول: «كل الناس فانون، وسقراط انسان، اذن سقراط فان». والآن فمن الواضح بادىء ذي بدء بأن ما نقصد إلى اثباته ليس سوى ان المقدمتين يلزم عنهما النتيجة، لا ان المقدمتين والنتيجة صادقة بالفعل. وحتى المنطق التقليدي جداً فإنه يشير إلى أن الصدق الفعلي للمقدمات لا مدخل له بالمنطق. وهكذا فإن أول تغيير يجب اجراؤه على القياس التقليدي المذكور هو صياغته في الصورة الآتية: «إذا كان كل الناس فانين، وكان سقراط إنساناً، إذن سقراط فان». ولعلنا نلاحظ الآن أن المقصود من هذه الصياغة بيان ان هذه الحجة صحيحة بمقتضى «صورتها»، لا بمقتضى الحدود الجزئية الواردة فيها. ولو أننا حذفنا «سقراط انسان» من مقدمتينا، لكان عندنا حجّة لاصورية، إنما نقبلها فقط بسبب أن سقراط بالفعل إنسان. وفي هذه الحالة لم يكن يتسنى لنا تعميم الحجّة. ولكن عندما ـ كما ذكرنا ـ تكون الحجة «صورية» فلا شيء يعتمد على الحدود الواردة فيها. وهكذا نستطيع أن نضع أ بدلاً من «الناس»، ب بدلاً من «فانون»، س بدلاً من سقراط، حيث أ، ب أي فصلين اتفقا، س أي فرد. ثم نصل إلى هذه الصيغة: «مهما تكن القيم التي تأخذها أ، ب، س، إذا كانت جميع الألفات باءات، وكان س أحد، اذن س أحد ب». بعبارة أخرى «دالة القضية، إذا كانت جميع الألفات باءات، س أحد أ، اذن س أحد ب صادقة دائماً». وبذلك أخيراً نحصل على قضية في المنطق ـ وهي القضية التي إنما توحي بها فقط الصياغة التقليدية عن سقراط والناس والفانين.

من البيّن أنه إذا كان الاستدلال «الصوري» هو ما نرمي إليه، فسنصل دائماً في النهاية إلى صيغ كالمذكورة آنفاً، لا يذكر فيها أشياء أو خواص فعلية. وسيحصل ذلك بواسطة مجرد الرغبة في ألا نضيع وقتنا في إثبات حالة جزئية ما يمكن اثباته عموماً. وقد يكون من المضحك أن نسير في حجة طويلة عن سقراط، ثم بعد ذلك نسير في الحجة نفسها بالضبط مرة أخرى عن أفلاطون. إذا كانت حجتنا (مثلاً) تصح على جميع الناس، فسنثبتها في ما يتعلق بـ «س» مع هذا الفرض «إذا كان س إنساناً». وبهذا الفرض ستحتفظ الحجة بصحتها الشرطية حتى عندما لا يكون س إنساناً. ولكن الآن سنجد أن حجتنا ستبقى صحيحة إذا كنا بدلاً من افتراض س إنساناً، سنفترض أنه قرد أو أوزة أو رئيس وزراء. أن نضيع إذن وقتنا بأن نأخذ كمقدمتنا «س إنسان» بل سنأخذها «س أحد أ» حيث أ أي فصل من الأفراد، أو س حيث

أية دالة قضية من صنف ما معين. وهكذا فإن غياب كل ذكر للأشياء أو الخواص الجزئية في المنطق أو الرياضة البحتة نتيجة ضرورية عن هذه الحقيقة، وهي ان هذه الدراسة كما قلنا «صورية بحتة».

وعند هذه النقطة نجد أنفسنا في مواجهة مشكلة صياغتها أسهل من حلها، والمشكلة هي: «ما هي مكوّنات القضية المنطقية؟». ولما كنت لا أعرف الحل فأقترح شرح كيف نشأت المشكلة.

خذ (مثلاً) القضية «كان سقراط قبل أرسطو». ويبدو هاهنا من الواضح أن عندنا علاقة بين حدّين وان مكوّنات القضية (وكذلك الحقيقة المناظرة لها) هي ببساطة الحدّان والعلاقة، نعني سقراط وأرسطو و«قبل». (اني أتجاهل الحقيقة من أن سقراط وأرسطو ليسا بسيطين، وكذلك الحقيقة من أن الذي يظهر أنه اسمهما هو في الواقع وصفان مبتوران. ولا واحدة من هاتين الحقيقتين داخلة في بحثنا الحاضر). ويمكن أن نمثل الصورة العامة لمثل هذه القضايا بالرمز «س ع ص» الذي قد يقرأ على هذا النحو «س له العلاقة ع مع ص». هذه الصورة العامة قد ترد في القضايا المنطقية، ولكن لا يمكن أن تحصل أية حالة جزئية منها. فهل لنا أن نستنتج أن الصورة العامة نفسها من مكونات مثل هذه القضايا المنطقية؟

إذا علمت قضية مثل «سقراط قبل أرسطو» كان عندنا مكوّنات معينة وكذلك صورة معينة. ولكن الصورة ليست نفسها مكوّناً جديداً، إذ لو كانت كذلك لاحتجنا إلى صورة جديدة تضم كلاً من هذه الصورة والمكونات الأخرى، ونستطيع في الواقع أن نقلب جميع المكونات في قضية إلى متغيرات، مع الاحتفاظ بالصورة دون تغيير. وهذا ما نفعله عندما نستخدم هيئة مثل «س ع ص» ترمز لأية قضية من فصل معين من القضايا، وهي تلك التي تثبت علاقات بين حدّين. ويمكن أن ننتقل إلى أحكام عامة مثل «س ع ص صادقة أحياناً»، أي ان هناك حالات تصحّ فيها العلاقات الثنائية. وهذا الحكم سينتمي إلى المنطق (أو الرياضة) بالمعنى الذي نستخدم فيه اللفظ. ولكننا في هذا الحكم لا نذكر أي أشياء جزئية أو علاقات جزئية، لأنه لا أشياء أو علاقات جزئية يمكن أبداً أن تدخل في قضية من المنطق البحت. وبذلك نترك مع «الصور» البحتة باعتبار أنها هي وحدها المكونات الممكنة للقضايا المنطقية.

لا أرغب أن أقرر بشكل حاسم أن الصور البحتة ـ مثال ذلك الصورة «س ع ص» ـ تدخل بالفعل في القضايا من النوع الذي نبحث فيه. ومسألة تحليل مثل هذه القضايا صعبة وثمة اعتبارات متعارضة في هذا الجانب وذاك. ولا نستطيع البحث في هذه المسألة الآن، ولكننا يمكن ان نسلّم كتقريب أولي بوجهة النظر القائلة بأن «الصور» هي ما يدخل في القضايا المنطقية كمكوناتها. وقد نفسر (ولو أننا لا نعرف صورياً) ما نعنيه بصورة القضية على النحو الآتي:

«صورة» القضية هي تلك التي تبقى فيها دون تغيير عند استبدال كل مكوّن في القضية بغيره.

وهكـذا فإن «سقـراط أسبق من أرسطو» لهـا الصـورة نفسـهـا مثل «نـابليون أعـظم من ولنغتون» مع أن كل مكون في القضـيتين مختلف.

يمكن بذلك أن نضـع كخاصيـة ضـرورية وإن كـانـت غير كـافية في القضـايا المنطقية أو الـريـاضـيـة أنها يجب أن تكـون بحيث يمكن الحصـول عليهـا من قضيـة لا تشتمـل عـلى أي متغيرات (أي ليس فيها ألفاظ مثل كل، بعض، أحد الـ، إلى آخره) بقلب كل مكوِّن إلى متغـير، والحكم بأن النتيجـة صادقـة دائماً أو أحيـاناً، أو أنها صـادقة دائـماً بالنسـبة إلى بعض المتغيرات، وان النتيجة صادقة أحياناً بـالنسـبة إلى بعض المتغـيرات الأخرى. وطـريقة أخـرى لتقرير الشيء نفسه هي القول بأن المنطق (أو الرياضة) يعنى فقط بالصـور، وأنه يعنى بها فقط بالطريقة التي نقرر فيها أنها صادقة دائماً أو أحياناً ـ مع جميع التباديل بين «دائماً» و«أحياناً» مما يمكن حصولها.

وهناك في كل لغة بعض ألفاظ وظيفتها الوحيدة بيان الصورة. وهذه الألفاظ بوجه عام أشيـع في اللغات التي صرفها أقل. خذ مثلاً «سقـراط هـو إنسـان» «Socrates is human»، فلفـظة «هـو» هـاهنـا ليـسـت من مكـوِّنـات القضيـة ولكنهـا تشـير فقط إلى صـورة المـوضـوع والمحمـول. وبالمثـل في القضية «سقـراط هو is أسبق من than أرسـطو» فـإن «هـو is و«من than» إنما يشيران فقط إلى الصورة. فالقضيـة هي عين القضـيـة مثل «سقـراط يسـبق أرسـطو» حيث اختفت تلك الألفاظ والصورة مبينة بشكل آخر. والصورة كقـاعدة يمكن الإشـارة إليها بطريقة أخرى خلاف الألفاظ المتخصصة، لأن تـرتيب الألفاظ يمكن أن يصنـع معظم مـا هو مطلوب. ولكن هذا المبـدأ لا ينبغي أن نحمله أكثر من طـاقته. مثـال ذلك، من الصـعـب أن نتبين كيف يمكن بطريقة مناسبة التعبير عن الصور الجزيئية molecular من القضـايـا (أي التي نسميها «دوال الصدق») دون أيـة لفظة عـلى الاطلاق. لقـد رأينا في البـاب الرابـع عشر أن لفظاً، أو رمزاً واحداً يكفي لهذا الغـرض، نعني لفظاً أو رمـزاً يعبر عن عـدم الاتفاق. ولكن حتى بغير لفظ واحد لا بد أن نجد أنفسنا في مواجهة صعوبات. ومع ذلـك فليـسـت هذه هي النقطة الهامة بالنسبة إلى غرضنا الحاضر. المهم بـالنسـبة إلينـا ملاحـظة أن الصورة قـد تكون موضع عنايتنا الوحيد في قضية عامة حتى عندما لا يدل أي لفظ أو رمـز في تلك القضية عـلى الصورة. وإذا رغبنا في الكلام عن الصورة نفسـها، فلا بـد أن يكون عنـدنا لفظ لهـا. ولكن إذا شئنا أن نتكلم كما هو الحال في الرياضيـات عن جميع القضايا التي لها صورة، فسنجد عادة أنه لا غنى عن لفظ للصورة، والأرجح نظرياً أن اللفظ لا غنى عنه أبداً.

وإذا فـرضـنا ـ كـما أعتقد أنـه قد يحسن بنا ـ أن صـور القضـايا يمكن ان تمثلهـا صـور القضـايا التي تعـبر فيها بغـير أية لفـظة خاصـة عن الصـور، فـنصـل إلى لغة فيهـا كل شيء صـوري ينتمي إلى الصرف لا إلى المعجم اللفظي. وفي مثـل هـذه اللغـة يمكن أن نعـبر عن جميع قضايا الرياضة حتى لو لم نعرف لفظة واحدة من اللغة. ولو بلغت لغـة المنطق الرياضي الكمال لكانت هي مثل هذه اللغة. كان ينبغي أن يكون عندنا رموز بدلاً من المتغيرات، مثل «س»، «ع»، «ص» مرتبة بطرق شتى. وطريقة الترتيب تبين أن شيئاً مـا قد قيـل إنه صـادق

على جميع أو بعض قيم المتغيرات. ولسنا في حاجة إلى معرفة أية ألفاظ لأنها إنما نحتاج إليها فقط في إعطاء قيم للمتغيرات، وهذه مهمة الرياضي التطبيقي، لا الرياضي أو المنطقي البحت. ومن احدى سمات القضية أنه إذا أعطينا لغة مناسبة أمكن لشخص يعرف الصرف دون أن يعرف لفظة واحدة من المعجم تقرير مثل هذه القضية في مثل هذه اللغة.

إلا أنه مع هذا كله هناك ألفاظ تعبّر عن الصورة مثل «هو is» و«من than»، وفي كل رمزية ابتُدعت حتى الآن للمنطق الرياضي يوجد رموز لها معانٍ صورية ثابتة. وقد نأخذ كمثال رمز عدم الاتفاق الذي يستخدم في بناء دوال الصدق. فمثل هذه الألفاظ أو الرموز قد ترد في المنطق، وعندئذ نواجه هذا السؤال: كيف نعرفها؟

مثل هذه الألفاظ أو الرموز تعبّر عمّا يسمى «الثوابت المنطقية». وقد تعرف الثوابت المنطقية بالضبط كما عرفنا الصور. الواقع انها في جوهرها الشيء نفسه. والثابت المنطقي هو ذلك الذي يعمّ عدداً من القضايا أية واحدة منها يمكن أن تنتج من أية واحدة أخرى باستبدال حدود احداهما بالأخرى. مثال ذلك «نابليون أعظم من ولنغتون» تنتج من «سقراط أسبق من أرسطو» باستبدال نابليون بسقراط وولنغتون بأرسطو وأعظم بأسبق. ويمكن الحصول على بعض القضايا بهذه الطريقة من النموذج الأصلي «سقراط أسبق من أرسطو» وبعضها لا يمكن الحصول عليه. والتي يمكن الحصول عليها هي التي على الصورة «س ع ص» أي تعبر عن علاقات ثنائية. فنحن لا نستطيع أن نحصل من النموذج السابق باستبدال حد بحد، على قضايا مثل «سقراط إنسان» أو «أعطى الأثينيون السم لسقراط» لأن القضية الأولى من صورة الموضوع والمحمول، والثانية تعبر عن علاقة ثلاثية الحدود. وإذا وجب أن يكون عندنا أية ألفاظ في لغتنا المنطقية البحتة، فلا بد أن تكون بحيث تعبر عن «ثوابت منطقية»، والثوابت المنطقية إما ستكون دائماً - وإما مشتقة من - ما يعمّ مجموعة من القضايا يشتق بعضها من بعضها الآخر بالطريقة المذكورة باستبدال حدٍّ بحد. وهذا الذي يعمّ هو ما نسميه «صورة».

وبهذا المعنى جميع «الثوابت» التي ترد في الرياضة البحتة ثوابت منطقية. فالعدد مثلاً مشتق من قضايا من الصورة «هناك حد بحيث ان ф س تكون صادقة عندما، وعندما فقط، تكون س هي حـ، وهذه دالة لـ ф وتنتج قضايا مختلفة شتى من اعطاء قيم مختلفة. وقد نأخذ (مع حذف يسير لخطوات متوسطة ليست داخلة في غرضنا الحاضر) الدالة المذكورة لـ ф على أنها المقصود من قولنا «الفصل الذي تحدده ф فصل وحدة» أو «الفصل الذي تحدده ф عضو في ١ (من حيث ان ١ فصل فصول)». وبهذه الطريقة، القضايا التي يرد فيها ١ تكتسب معنى مشتقاً من صورة منطقية ثابتة معينة. وسنرى أن الأمر واحد بالنسبة إلى جميع الثوابت الرياضية: فكلها ثوابت منطقية أو اختصارات رمزية يعرف استخدامها الكامل في سياق صحيح بوساطة الثوابت المنطقية.

ولكن مع أن كل القضايا المنطقية (أو الرياضية) يمكن التعبير عنها كلية بحدود الثوابت

المنطقية مأخوذة مع متغيرات، فليس الحال ـ بالعكس ـ ان كل القضايا التي يمكن التعبير عنها بهذه الطريقة منطقية. وقد وجدنا حتى الآن معياراً ضرورياً، ولكنه ليس كافياً للقضايا الرياضية، فقد عرفنا بما فيه الكفاية خاصية «الأفكار» الأولية بحدود يمكن بها تعريف جميع الأفكار الرياضية، ولكن ليس خاصية «القضايا» الأولية التي يمكن منها استنتاج كل قضايا الرياضة. وهذه مسألة أكثر صعوبة لم يتيسر حتى الآن معرفة جوابها كاملاً.

ويمكن أن نأخذ بديهية اللانهاية كمثال لقضية، ولو أنها يمكن صياغتها بحدود منطقية، إلا أنه لا يمكن الحكم عليها بالمنطق أنها صادقة. ان كل قضايا المنطق لها خاصية جرت العادة بالتعبير عنها بقولنا انها تحليلية، أو ان متناقضاتها متناقضة بذاتها. ومع ذلك فهذا الضرب من القول ليس مرضياً. ان قانون التناقض إنما هو فقط أحد قوانين قضايا المنطق، وليس فيه صدارة خاصة. والبرهان على أن تناقض قضية ما متناقض بذاته، أشبه أن يحتاج إلى قوانين أخرى للاستنتاج إلى جانب قانون التناقض. وعلى الرغم من ذلك فإن خاصية القضايا المنطقية التي نبحث عنها، هي تلك التي شعر بها وقصد إلى تعريفها، أولئك الذين قالوا انها تشتمل على قبول الاستنتاج من قانون التناقض. هذه الخاصية التي قد نسميها مؤقتاً «لغو» من الواضح أنها لا تنتمي إلى القول بأن عدد الأفراد في العالم ن، مهما يكن العدد ن. ولولا تعدد الأصناف لكان من الممكن أن نثبت منطقياً وجود فصول لها ن من الحدود حيث ن أي عدد صحيح متناه، أو حتى وجود فصول لها N من الحدود. ولكن نظراً إلى وجود الأصناف فإن مثل هذه البراهين، كما رأينا في الباب الثالث عشر، خاطئة، وبذلك نترك إلى الملاحظة التجريبية لتقرير ما إذا كان في العالم من الأفراد ما يبلغ عدده ن. وبين العوالم الممكنة بالمعنى الليبنتزي هناك عوالم لها واحد، اثنان، ثلاثة... أفراد. ولا يلوح أنه يوجد حتى أية ضرورة منطقية لها على الأقل فرد واحد[1] لأنه في الواقع يعتمد على نظرة خاطئة عن الوجود، أي أنه يفشل في التحقق من أن الوجود إنما يمكن اثباته فقط على شيء موصوف لا على شيء مسمى، بحيث يصبح عما لا معنى له الاستنتاج من «هذا هو كيت وكيت» و«كيت وكيت موجود» إلى «هذا موجود».

فإذا كان الأمر كذلك، فلا يمكن لمبدأ منطقي أن يقرر «الوجود» إلا طبقاً لفرض، أي لا لمبدأ يمكن أن يكون على الصورة «دالة القضية كيت وكيت صادقة أحياناً». والقضايا من هذه الصورة عندما ترد في المنطق سترد كفروض أو نتائج لفروض لا كقضايا مقررة كاملة. ان قضايا المنطق المقررة الكاملة ستكون جميعاً بحيث تثبت أن دالة قضية ما صادقة دائماً. مثال ذلك من الصادق دائماً أنه إذا كانت ق تستلزم ك، وك تستلزم ل اذن ق تستلزم ل، أو أنه إذا كانت جميع الألفات باءات، س أحد أ، إذن س أحد ب. مثل هذه القضايا قد تحصل في المنطق، وصدقها مستقل من وجود العالم. نستطيع إذن أن نضع أنه بفرض عدم وجود أي عالم، فإن «جميع» القضايا العامة ستكون صادقة، لأن تناقض القضية العامة (كما

(١) القضايا الأولية في كتاب مبادىء الرياضيات هي بحيث تسمح باستنتاج أنه يوجد على الأقل فرد واحد موجود، ولكني الآن أرى هذا عيباً في النقاء المنطقي.

رأينا في الباب الخامس عشر) أنها قضية تثبت الوجود، فتكون بذلك دائماً باطلة إذا لم يوجد أي عالم.

القضايا المنطقية هي بحيث يمكن معرفتها أولياً دون دراسة العالم الواقعي. فنحن إنما نعرف من دراسة الوقائع التجريبية أن سقراط إنسان ولكننا نعرف صحة القياس في صورته المجردة (أي عندما تصاغ في حدود من متغيرات) دون حاجة إلى رجوع إلى التجربة. وهذه خاصية لا للقضايا المنطقية في ذاتها بل في الطريقة التي بها نعرفها. وهذه الخاصية لها مع ذلك أثر في السؤال عن طبيعة القضايا ما عسى أن تكون، ما دام هناك بعض أنواع من القضايا من الصعب جداً الافتراض أننا نعرفها بغير تجربة.

من البيِّن أن تعريف المنطق أو الرياضة يجب التماسه بمحاولة اعطاء تعريف جديد للمفهوم القديم عن القضايا «التحليلية»، مع أننا لا نستطيع أن نقنع بتعريف القضايا المنطقية على أنها تلك التي تترتب على قانون التناقض. فنستطيع، ويجب أن نستمر على التسليم بأنها فصل من القضايا مختلفة تماماً عن تلك التي تحصّل معرفتها تجريبياً، ولها جميعاً الخاصية التي اتفقنا منذ قليل على تسميتها باللغو. وهذه الخاصية مأخوذة مع الواقع من أن القضايا يمكن التعبير عنها تماماً بحدود من متغيرات وثوابت منطقية (والثابت المنطقي شيء يبقى ثابتاً في قضية حتى عندما تتغير جميع مكوناتها) ستعطي تعريف المنطق أو الرياضة البحتة. ولست أدري إلى هذه اللحظة كيف أعرّف اللغو. قد يكون من السهل تقديم تعريف قد يلوح مُرْضياً بعض الوقت، ولكن لا أعرف أي تعريف أشعر أنه مُرْضٍ على الرغم من شعوري تماماً بالفة الخاصية التي يحتاج إليها التعريف[1]. عند هذه النقطة إذن نبلغ مؤقتاً حدود المعرفة في رحلتنا إلى الوراء ذاهبين إلى الأسس المنطقية للرياضيات.

بلغنا الآن نهاية خلاصة مقدمتنا عن الفلسفة الرياضية. ومن المستحيل أن ننقل نقلاً كاملاً الأفكار المتعلقة بهذا الموضوع طالما نمتنع من استخدام الرموز المنطقية. ولما كانت اللغة العادية تخلو من ألفاظ تعبّر تعبيراً طبيعياً بالضبط عمّا نريد التعبير عنه، فمن الضروري ما دمنا نتمسك باللغة العادية أن نخرج بالألفاظ إلى معانٍ غير مألوفة، والقارىء متأكد بعد فترة من الوقت ـ إن لم يكن من ابتداء الأمر ـ أنه سيرجع إلى خلع المعاني المألوفة على الألفاظ، فيصل بذلك إلى مفاهيم خاطئة عمّا نقصد قوله. وفضلاً عن ذلك، فإن النحو والصرف مضللان إلى أقصى حد. وهذه هي الحال مثلاً في ما يختص بالأعداد، فقولنا «رجال عشرة» هي نحوياً من نفس صورة «رجال بيض»، حتى لقد يظن أن «عشرة» صفة قد تصف الرجال. وهذه هي الحال حيثما تدخلت دوال القضايا، وبوجه خاص في ما يتعلق بالوجود والأوصاف. ولأن اللغة مضللة، ولأنها مبهمة، وغير مضبوطة عند تطبيقها على المنطق (ولم تكن اللغة تقصد إلى ذلك أبداً) فإن الرمزية المنطقية ضرورية على الاطلاق لأية معالجة

(١) أهمية اللغو في تعريف الرياضة نبهني إليها تلميذي السابق لودفيغ وتجنشتين الذي كان يبحث هذه المشكلة، ولست أدري هل حلها أو حتى إذا كان لا يزال على قيد الحياة.

مضبوطة كاملة لموضوعنا. أما أولئك القراء الذين يرغبون في التمكن من تحصيل مبادىء الرياضيات، فلن يرهبوا، في ما أرجو، الاشتغال بالتمكن من الرموز، وهو اشتغال في الواقع أقل مما يظن. ولما كان العرض السريع المذكور قد بيَّن بما لا ريب فيه أن ثمة مشكلات كثيرة لم تحل بعد في هذا الموضوع، وأننا نحتاج إلى اجراء الكثير من البحث، فلو انتهى أي طالب من قراءة هذا الكتاب إلى دراسة جدية للمنطق الرياضي، لا جرم أن يكون الكتاب قد حقق الغرض الرئيسي الذي من أجله أُلّف».

٤ ـ الحدس والمنطق في الرياضيات[١]

أشرنا في الفصل الثالث من هذا الكتاب إلى ذلك النقاش الذي احتدم في أوائل هذا القرن بين الرياضيين عامة، وفلاسفة الرياضيات خاصة، حول مشكلة الأسس، وقلنا ان النقاش كان يدور بصفة خاصة بين أصحاب النزعة المنطقية وأصحاب النزعة الحدسية. وقد كان على رأس النزعة الأولى الفيلسوف البريطاني برتراند راسل، بينما كان بوانكاريه أحد أقطاب النزعة الثانية. وفي هذا النص يشرح بوانكاريه رأيه في موضوع كان وما يزال موضوع نقاش: دور كل من الحدس والمنطق في الرياضيات. انه نوع من «التحليل السيكولوجي» للابتكار والابداع في الرياضيات. وكما هو واضح من خلال النص فإن بوانكاريه يبني تحليله لدور كل من الحدس والمنطق في التفكير الرياضي على أساس المقارنة بين الفكر التحليلي (منطق) والفكر الهندسي (حدس): الأول تحليل والثاني تركيب. في الأول يقين، وفي الثاني ابداع وابتكار: الحدس مصدر الخصوبة، والمنطق أداة للبرهان ومصدر لليقين.

ـ ١ ـ

«من المستحيل دراسة أعمال الرياضيين الكبار، بل وحتى الصغار منهم، دون أن يلاحظ المرء وجود اتجاهين متعارضين، أو على الأصح، دون أن يميز بين نوعين من الفكر مختلفين تمام الاختلاف: من الرياضيين من يستأثر المنطق باهتمامهم، أولئك الذين نشعر، عند قراءة كتبهم، أنهم لا يتقدمون إلا خطوة بعد خطوة، سالكين منهج فوبان Vaubin[٢] الذي كان يحرص أشد الحرص على أن لا يترك أي شيء للصدفة عندما يكون بصدد اقتحام قلعة من القلاع المحصّنة. ومنهم من يمنحون لأنفسهم حرية الانسياق مع الحدس، فيتوصلون، لأول وهلة، إلى اكتشافات سريعة، قد تكون أحياناً غير ناضجة، مثلهم مثل الفرسان الشجعان الذين يشكّلون رواد الجيش وطلائعه الأولى.

(١) Henri Poincaré, *La Valeur de la science,* préface de Jules Vuillemin, science de la nature (Paris: Flammarion, 1970), chap. 1: «Science,» pp. 27-40.

(٢) مهندس عسكري فرنسي (١٦٣٣ ـ ١٧٠٧) معروف بخططه المحكمة لاقتحام أو تحصين القلاع. ويضرب به المثل في الحرص على السير خطوة خطوة بثبات وإحكام. (المترجم).

وليس هذا الاختلاف بين الفريقين راجعاً إلى المادة التي يشتغلون بها، فليست هذه هي التي تفرض عليهم هذه الطريقة أو تلك. فعلى الرغم من أننا نقول، غالباً، عن رجال الفريق الأول إنهم تحليليون Analystes، وعن أصحاب الفريق الثاني إنهم هندسيون Géomètres، فإن هذا لا يمنع ذوي النزعة التحليلية من أن يظلوا تحليليين حتى عندما يشتغلون بالهندسة، ولا ذوي النزعة الهندسية من أن يظلوا هندسيين حتى عندما يشتغلون بالتحليل المحض. ان طبيعة فكرهم، نفسها، هي التي تجعل منهم منطقيين أو حدسيين، وهم لا يستطيعون الخروج عنها عندما يعالجون موضوعاً جديداً.

وأيضاً، ليست التربية هي التي نمّت فيهم أحد هذين الميلين وقمعت الميل الآخر. فالإنسان يكون رياضياً بالفطرة لا بالاكتساب، ويظهر أنه يولد كذلك إما هندسياً وإما تحليلياً.

إن هذين النوعين من الفكر ضروريان أيضاً لتقدم العلم (الرياضي). لقد أنجز المنطقيون أشياء كثيرة يعجز الحدسيون عن الإتيان بمثلها، وأنجز الحدسيون كذلك أشياء كثيرة لا يستطيع المنطقيون الاضطلاع بها. فمن يستطيع الادعاء أنه يفضل لو أن ولبرستراس[3] Welierstrass لم يكتب شيئاً، أو أن ريمان Reimann لم يكن موجوداً؟ ان لكل من التحليل والتركيب دوره المشروع. ومن المفيد ان ندرس عن قرب نصيب كل منهما في تاريخ العلم (الرياضي).

- ٢ -

إنه لشيء مدهش أن نلاحظ، عندما نقرأ من جديد مؤلفات القدماء، اننا نميل إلى تصنيفهم جميعاً ضمن الحدسيين. ومع ذلك فإن هذه الدهشة لا تغير من الواقع شيئاً، فالطبيعة هي نفسها دوماً، ومن غير المحتمل أن تكون قد بدأت، في هذا القرن، في خلق أذهان صديقة المنطق.

ولو أننا نستطيع وضع أنفسنا داخل تيار الأفكار السائدة في عصر القدماء، لاكتشفنا أن كثيرين من هؤلاء الهندسيين الشيوخ كانوا ذوي ميول تحليلية. فأوقليدس مثلاً شيّد صرحاً علمياً لم يكن معاصروه يستطيعون أن يكتشفوا فيه أية ثغرة أو اي خطأ (منطقي). وإذا تناولنا نحن اليوم هذا الصرح الأوقليدي الضخم، فإننا نستطيع أن نتبين فيه عمل رجل من رجال المنطق، على الرغم من أن كل لَبِنَة من لَبِنَاته إنما ترجع في وجودها إلى الحدس.

ليست الأذهان هي التي تغيّرت، بل إن الذي تغير هو الأفكار. إن الأذهان الحدسية ظلت هي هي، ولكن قرّاء إنتاجها ألحّوا في طلب مزيد من الالتزام من جانبها.

---

(٣) رياضي ألماني (١٨١٥ - ١٨٩٧) مشهور بكيفية خاصة بنظرية حول الدوال، فهو «تحليلي». أما ريمان فهو المعروف بهندسته اللاأوقليدية (وهو هندسي). (المترجم).

فما سبب هذا التطور؟

الواقع انه ليس من الصعب اكتشافه. ان الحدس لا يستطيع أن يمنحنا الصرامة والتماسك، بل لا يستطيع ان يمدنا حتى باليقين. وهذا شيء نلاحظه أكثر فأكثر.

لنقدم بعض الأمثلة. إننا نعرف ان هناك دوالَّ متصلةً لا مشتقات لها، وتلك قضية فرضها علينا المنطق، ولا شيء أشد منها وقعاً على الحدس. ألم يكن آباؤنا يقولون: «من البديهي أن لكل دالة متصلة مشتق، لان لكل منحنى مماساً».

فكيف أمكن الحدس أن يخدعنا إلى هذه الدرجة؟ ان هذا راجع إلى أننا عندما نحاول تصور منحنى لا نستطيع تمثله إلا كشيء له قدر ما من السُمْك أو الثخانة، تماماً مثلما لا نستطيع تمثّل مستقيم إلا بتخيله على شكل شريط أو خيط ممتد على استقامة واحدة، ويتوفر على عرض ما. إننا نعرف جيداً أن المنحني والمستقيم لا عرض ولا عمق لهما، ونحن نجتهد في تصورهما رقيقين أكثر فأكثر، مقتربين هكذا من الحد الأقصى في الرقّة إلى درجة الإمساك به، ولكن دون أن نبلغه بتمامه.

وهكذا يتضح أننا نستطيع دوماً تصور شريطين (أو خيطين) رقيقين جداً، أحدهما مستقيم والآخر منحن، شريطين يقترب أحدهما من الآخر اقتراباً شديداً، ولكن دون أن يتقاطعا، الشيء الذي يدفع بنا، إذا لم نكن متمسكين بالصرامة المنطقية، إلى استنتاج ان هناك دوماً مماساً للمنحنى.

وإذن فالحدس لا يمدنا باليقين، ولذلك كان لا بد من التطور.

فلننظر الآن إلى الكيفية التي حصل بها هذا التطور.

لم يكن من الصعب إدراك أن الاستدلال لا يمكن أن يتصف بالصرامة المنطقية، ما لم تكن التعاريف متصفة بها أولاً. لقد ظلت الموضوعات الرياضية في معظمها، ولمدة طويلة، غير معرفة تعريفاً دقيقاً. لقد كان يعتقد انها معروفة، لكونها كانت تُتصور بالحواس والمخيلة. ولكنها في الحقيقة لم تكن تدرك إلا بصورة عامة مشوشة، صورة لا تتمتع بالدقة اللازمة التي تجعلها صالحة لتكون أساساً للاستدلال.

فإلى هذه النقطة بالذات بدأ المناطقة يوجهون معاولهم.

وهكذا تمّت معالجة العدد الأصم (= غير القابل للقياس). فلقد انحلّت الفكرة الغامضة التي يقدمها لنا الحدس عن الاتصال، إلى منظومة معقدة من المتباينات Inégalités المبنية على الأعداد الصحيحة. ومن هنا تمّ التغلب نهائياً على الصعوبات التي يطرحها تصور الحد الأقصى في التسلسل اللانهائي، أو التعامل مع المتناهيات في الصغر، ولم يبق في «التحليل» اليوم غير الأعداد الصحيحة أو المنظومات النهائية واللانهائية للأعداد الصحيحة، تلك المنظومات التي يرتبط بعضها ببعض بواسطة شبكة من علاقات التساوي والتباين (= عدم التساوي).

لقد تم، كما قيل، تحسيب الرياضيات.

- ٣ -

ولكن هل انتهى التطور؟ هل بلغنا أخيراً الصرامة المنطقية؟ انه سؤال يطرح نفسه.

لقد كان اباؤنا يعتقدون، خلال كل مرحلة من مراحل التطور، انهم بلغوها فعلاً. وإذا كانوا قد أخطأوا، أفلا نكون مخطئين، نحن اليوم، إذا اعتقدنا مثل اعتقادهم؟

نحن نعتقد اننا لم نعد نستعمل الحدس في استدلالاتنا. والفلاسفة يردون علينا قائلين: هذا مجرد وهم. ان المنطق المحض لا يمكن أن ينتج سوى عبارات تكرارية من قبيل تحصيل الحاصل Tautologie. انه لا يستطيع أن يقدم جديداً، لا يستطيع بمفرده أن يبني العلم.

إن هؤلاء الفلاسفة محقون من بعض الوجوه. فلتشييد الحساب أو الهندسة أو أي علم آخر، مهما كان، لا بد من شيء آخر غير المنطق المحض. وهذا الشيء الآخر لا نستطيع التعبير عنه بكلمة أخرى غير كلمة حدس. ولكن ما أكثر المعاني المختلفة التي تختفي وراء هذه الكلمة؟ لنقارن بين هذه «البديهيات» الأربع:

١ ـ المقداران المساويان لثالث متساويان.

٢ ـ إذا كانت نظرية ما صحيحة بالنسبة إلى العدد ١ وإذا برهنا على أنها صحيحة بالنسبة إلى: ن + ١، مع افتراض انها صحيحة بالنسبة إلى ن، فإنها ستكون صحيحة بالنسبة إلى جميع الأعداد الصحيحة.

٣ ـ إذا كانت نقطة «ج» موجودة على مستقيم وواقعة بين «أ» و«ب»، وكانت نقطة «د» واقعة بين «أ» و«ج» في المستقيم نفسه، فإن نقطة «د» تقع حتماً بين «أ» و«ب».

٤ ـ من نقطة خارج مستقيم لا يمكن أن نرسم سوى موازٍ واحدٍ لهذا المستقيم.

جميع هذه البديهيات الأربع من عمل الحدس. ومع ذلك فإن البديهية الأولى تعبر عن مضمون احدى قواعد المنطق الصوري. أما الثانية فهي حكم تركيبي قبلي حقيقي، وهو يشكل أساس الاستقراء الرياضي الصارم. هذا في حين أن البديهية الثالثة تقتضي الاستعانة بالمخيلة، كما أن الرابعة هي عبارة عن تعريف مقنع.

وهكذا يتضح انه ليس من اللازم أن يكون الحدس قائماً دوماً على شهادة الحواس، فالحواس سرعان ما تعجز. فنحن لا نستطيع مثلاً أن نتمثل في أذهاننا مضلّعاً يشتمل على مئة ضلع، ومع ذلك فإننا نقوم باستدلالات بواسطة الحدس على المضلع على العموم، بما فيه المضلع المشتمل على مئة ضلع، والذي ننظر إليه كحالة خاصة من حالات المضلع.

إنكم على علم بما كان يقصده بونسولي Poncelet[4] من مبدأ الاتصال: كان يقول إن

---

(٤) عالم رياضي فرنسي (١٧٨٨ ـ ١٨٦٧) مشهور باكتشافاته للعجلات التي تسير بالقوة المائية. (المترجم).

ما هو صحيح بالنسبة إلى كمية واقعية يجب أن يكون صحيحاً كذلك بالنسبة إلى كمية متخيَّلة. وما هو صحيح بالنسبة إلى قطع مكافىء ذي مقاربات[5] asymptotes واقعية، يجب أن يكون صحيحاً كذلك بالنسبة إلى قطع ناقص ذي مقاربات خيالية. لقد كان بونسولي أحد أولئك الذين تمتعوا بعقول حدسية كبيرة خلال هذا القرن، وكان يعرف انه كذلك، معتزاً بل مفتخراً بهذه الموهبة الحدسية، ناظراً إلى مبدأ الاتصال هذا كأكثر تصوراته جرأة، ومع ذلك لم يكن هذا المبدأ يقوم على شهادة الحواس، بل ان تشبيهه للمقطع المكافىء بالقطع الناقص عمل يكذب شهادة الحواس. لقد كان ذلك نوعاً من التعميم السريع الصادر عن الغريزة، لا عن العقل، وليس في نيتي الدفاع هنا عن مثل هذا الميل التعميمي.

وإذن، فنحن أمام أنواع عديدة من الحدس: هناك أولاً، الحدس الذي يعتمد الحواس والمخيلة، وهناك ثانياً، التعميم بالاستقراء المستنسخ من طرق البحث في العلوم التجريبية. وأخيراً، هناك حدس العدد المحض الذي نرجع إليه البديهية الثانية التي ذكرتها قبل قليل، والذي يمكن أن يتأسس عليه الاستدلال الرياضي الحقيقي.

نعم، لا يمكن للنوع الأول ولا للنوع الثاني أن يمدانا باليقين، ولقد أوضحت ذلك أعلاه بواسطة أمثلة. ولكن من يستطيع أن يشك بجدّ في النوع الثالث؟ من يستطيع أن يشك في الحساب؟ هذا في وقت لا يجد فيه المشتغل بعلم التحليل القائم اليوم، إذا أراد أن تتصف أبحاثه بالصرامة، سوى اختيار واحد، إما اللجوء إلى القياس المنطقي Syllogisme وإما الاعتماد على حدس العدد المحض، الحدس الذي لا يمكن أن يغرّر بنا. لقد أصبح من الممكن القول اليوم: إن الصرامة المطلقة قد تمّ بلوغها.

هناك اعتراض آخر يدلي به الفلاسفة في هذا الصدد، يقولون: «إن ما تكسبونه على مستوى الصرامة المنطقية، تخسرونه على مستوى الموضوعية. إنكم لا تستطيعون الارتفاع إلى مثلكم الأعلى المنطقي إلا إذا قطعتم الروابط التي تربطكم بالواقع. رائع هو علمكم! ولكنه لا يستطيع أن يظل كذلك إلا إذا بقي مسجوناً في قصر من العاج وحرم على نفسه كل اتصال بالعالم الخارجي. هذا في حين انه لا بد له من مغادرة هذا القصر إذا هو أراد أن يكون له أدنى تطبيق».

عندما أريد أن أبرهن مثلاً على خاصية ما يتصف بها موضوع معين يتراءى لي أن مفهومه لا يقبل التعريف لأنه حدسي، أجدني أفشل أول الأمر، أو اكتفي بالبرهنة عليه على وجه التقريب. ثم استجمع قواي وأتمكن من تعريفه تعريفاً دقيقاً، ومن ثمة استطيع أن أنسب إليه تلك الخاصية بشكل برهاني لا مجال للطعن فيه.

---

(٥) الخط المقارب للمنحنى هو الخط الذي يزداد اقتراباً منه دون أن يلامسه إلاّ على بعد لا نهاية له. (المترجم).

وهنا يعترض الفلاسفة قائلين: «وماذا بعد؟ يبقى مع ذلك أن تبرهنوا على أن هذا الموضوع الذي عرفتموه بدقة هو الموضوع نفسه الذي كشف لكم الحدس عنه، أو أن هذا الموضوع الواقعي المشخص الذي تعرفون فيه على فكرتكم الحدسية مباشرة، يستجيب فعلاً لتعريفكم الجديد. انكم، في هذه الحالة فقط، تستطيعون أن تؤكدوا أن هذا الموضوع يتصف بالخاصية المعينة المذكورة. وهكذا فأنتم لم تعملوا في الحقيقة إلا على تحويل الصعوبة إلى وجهة أخرى».

هذا الاعتراض غير صحيح. فنحن لم نحوّل الصعوبة إلى وجهة أخرى، بل جزأنا هذه الصعوبة. ان المسألة تتألف في الواقع من حقيقتين مختلفتين لم نقم بالتمييز بينهما بادىء ذي بدء. الحقيقة الأولى حقيقة رياضية، وهي الآن تتوفر على الصرامة المنطقية المطلوبة. أما الثانية فهي حقيقة تجريبية. والتجربة هي التي من شأنها وحدها أن تفصل فيما إذا كان موضوع ما واقعياً مشخصاً يستجيب أو لا يستجيب لتعريف ما من التعاريف المجردة. ان هذه الحقيقة الثانية غير مبرهن عليها رياضياً. وهي لا تقبل مثل هذا البرهان، ولكنها في هذا ليست أقل من القوانين التجريبية، قوانين العلوم الفيزيائية والطبيعية. انه لمن غير المعقول أن نطالبها بأكثر مما نطالب به قوانين هذه العلوم.

وإذاً، أفلا يشكّل هذا التمييز تقدماً كبيراً؟ التمييز بين أشياء كنا نخلط بينها عن خطأ، ولمدة طويلة؟

هل يعني هذا انه ليس هناك ما يمكن أخذه بعين الاعتبار في هذا الاعتراض الذي يقدمه الفلاسفة؟ ليس هذا هو ما أردت الوصول إليه. ان العلم الرياضي بتحوله المستمر إلى علم يتوخى الصرامة المنطقية، يلبس مظهراً اصطناعياً مدهشاً للجميع، انه ينسى أصوله التاريخية: اننا نرى فيه كيف يمكن أن تحل المشاكل، ولكننا لا نتبين فيه كيف، ولماذا تطرح هذه المشاكل؟

إن هذا يدل على أن المنطق لا يكفي، وأن علم البرهان ليس كل العلم، وأن الحدس يجب أن يحتفظ بدوره المكمل، بل إني أميل إلى القول بأن الحدس هو الثقل الذي يحفظ التوازن، أو أنه الترياق الذي يقتل السمّ، انه لكذلك بالنسبة إلى المنطق.

لقد سبق لي أن أكدت على المكانة التي يجب أن يحتفظ بها الحدس في مجال تعليم الرياضيات. فبدون الحدس لا يمكن للأذهان الشابة، أذهان الطلاب: ان تتمرن على الفكر الرياضي، ولا أن تتعلم كيف تحب الرياضيات، ولا أن تجد فيها شيئاً آخر غير السفسطة التي لا طائل من ورائها، إنه بدون الحدس لن يتمكن الطلاب من تطبيق الرياضيات.

أما اليوم فأنا أريد الحديث، قبل كل شيء، عن دور الحدس في العلم الرياضي نفسه. ذلك لأنه إذا كان الحدس مفيداً للطلاب فهو أكثر جدوى للعالم الرياضي المبدع.

- ٤ -

نحن نسعى إلى معرفة الواقع. ولكن ما هو الواقع بالضبط؟

يخبرنا الفيزيولوجيون أن أعضاء الجسم مكوّنة من خلايا، ويضيف الكيميائيون قائلين: ان الخلايا نفسها مكوّنة من ذرات. ولكن هل يعني هذا أن هذه الذرات، أو هذه الخلايا تشكّل الواقع أو على الأقل الواقع الوحيد؟ أوليست الكيفية التي تترابط بها هذه الخلايا في نسق واحد، والتي من خلالها تتحقق وحدة الفرد، هي أيضاً واقع أكثر اهمية من هذه العناصر المعروفة؟ وهل يعتقد العالم الطبيعي الذي يدرس الفيل بالميكروسكوب انه يعرف هذا الحيوان معرفة كافية؟

هناك في الرياضيات ما يشبه هذا. ان رجل المنطق يجزىء البرهان إلى عدد كبير من العمليات الأولية. ونحن عندما نفحص هذه العمليات، الواحدة تلو الأخرى، وعندما نجدها كلها صحيحة، كلاً على حدة، فهل يعني ذلك أننا فهمنا حقاً المدلول الحقيقي للبرهان؟

بديهي أن الجواب بالنفي. إننا لا نمتلك بعد الواقع بأتمّه. إن ما يشكّل وحدة البرهان يفلت منا كليّة. ان التحليل المحض يضع تحت تصرفنا مجموعة من الطرق مضمونة الصلاحية، خالية من الأخطاء. انه يفتح لنا عدة طرق متنوعة يمكن استعمالها بثقة، والاطمئنان إلى أن السير فيها لا تعترضه عقبات. ولكن، أي من هذه الطرق يؤدي بنا سريعاً إلى الهدف؟ ومن يدلنا على الطريق الذي يجب سلوكه؟ انه لا بد لنا من قدرة ذهنية أخرى تمكّننا من رؤية الهدف من بعيد. وليست هذه القدرة أو الملكة شيئاً آخر غير الحدس. انها ملكة ضرورية للرائد الذي يبحث عن الطريقة المناسبة، وهي ليست أقل ضرورة لذلك الذي يمشي متبعاً آثار أقدامه محاولاً أن يعرف لماذا اختار الطريق التي سلكها قبل.

إذا كنت تتفرج في مباراة في الشطرنج، فلا يكفيك لفهم المرحلة التي يجتازها اللعب عند حضورك، معرفة قواعد تحريك قطع الشطرنج. ان المعرفة بهذه القواعد تمكنك فقط من العلم بأن كل عملية من عمليات اللعب قد تمت وفق هذه القواعد. وهذا شيء قليل الأهمية. تلك بالفعل هي حال القارىء لكتب الرياضيات إذا كان رجل منطق وحسب. إن فهم مرحلة ما من مراحل اللعب شيء آخر تماماً. انه معرفة الدواعي التي جعلت هذا اللاعب أو ذاك يحرّك هذه القطعة بدل تلك، الشيء الذي كان بوسعه أن يفعله دون أن يخرق قواعد اللعب. انه إدراك السبب الخفي الذي يجعل حركات اللاعبين المتتابعة تؤلف كلاً منتظماً. وإذا كانت هذه الملكة - ملكة الحدس - ضرورية للمتفرج، فهي بالأحرى ضرورية للاعب نفسه، أي لمن يقوم بالاختراع والإبداع.

لنترك الآن هذه المقارنة، ولنعد إلى الرياضيات.

لننظر مثلاً إلى ما حدث لفكرة الدالة المتصلة. لم يكن الأمر يتعلق في البداية، سوى

بصورة حسية، مثل صورة خط متواصل، كذلك الذي ترسمه الطباشير على السبورة السوداء. وشيئاً فشيئاً تخلصت الفكرة من هذا الطابع الحسي، وأصبح بالإمكان، بعد وقت وجيز، استعمالها في بناء منظومة معقدة من المتباينات، منظومة تستنسخ، إذا صح التعبير، جميع خطوط الصورة الأولى. وبمجرد ما انتهت عملية البناء ألقي بتلك الصورة الحسية المجسمة التي كانت مرتكزاً للبناء نفسه، ألقي بها بعيداً، لأنها أصبحت منذئذ غير ذات فائدة. وهكذا لم يبق في الميدان إلا البناء نفسه، البناء الخالي من كل ما يمكن أن يطعن فيه رجل المنطق. ولكن هذا لا يقلل من شأن تلك الصورة الأولى الحدسية. ذلك لأنه لو كانت هذه الصورة قد زالت نهائياً من ذاكرتنا، فكيف كان من الممكن لنا التكهن بتلك القوة التي جعلت جميع هذه المتباينات تنتظم بهذه الطريقة، الواحدة تلو الأخرى؟

ربما يأخذ عليّ القارىء أني أكثر من التشبيهات والمقارنات. ومع ذلك فإني أطلب منه السماح لي بإجراء مقارنة أخرى. لا شك انك قد شاهدت.تلك الكتلة من الإبر الصوانية التي تشكل هيكل بعض أنواع الاسفنج، والتي تتخذ، بعد اختفاء المادة الحية منها، شكل مشبك لطيف رائع. نعم لا شيء في هذا المشبك غير الأحجار الصوّانية، ولكن المهم، الذي لا دلالة خاصة له، هو الشكل الذي اتخذته تلك الأحجار، ومن غير الممكن فهم حقيقة هذا الشكل إذا كنا لا نعرف الاسفنج الحي الذي طبع فيها هذه الصورة. هكذا يجب أن ننظر إلى المفاهيم الحدسية التي كانت لدى آبائنا، حتى ولو قررنا التخلي عنها نهائياً. انها هي التي أعطت للبناءات المنطقية، التي أحللناها عليها، صورتها وشكلها.

ان الرؤية الإجمالية، التي تشكل قوام الحدس، ضرورية لمن يبتكر ويخترع، وهي ضرورية كذلك لمن يريد أن يفهم فعلاً هذا المخترع المبتكر. فهل يمكن للمنطق أن يمدنا بهذه الرؤية العامة الإجمالية؟ لا. ان الاسم الذي يطلقه الرياضيون عليه ـ على المنطق ـ يكفي وحده لبيان ذلك. ان المنطق في الرياضيات يسمى «التحليل». والتحليل معناه التجزئة والتفكيك، فهو لا يستطيع، اذن، أن يستعمل من الأدوات، غير المبضع والميكروسكوب.

وهكذا، فلكل من المنطق والحدس دوره الضروري. انهما معاً لا يمكن الاستغناء عنهما. ان المنطق الذي بإمكانه وحده أن يمدّنا باليقين هو أداة البرهان. أما الحدس فهو أداة الاختراع».

٥ ـ الاستدلال التكراري

في هذا النص يشرح بوانكاريه «طبيعة الاستدلال الرياضي» من وجهة نظره الحدسية التي عرضها في النص السابق. فهو يرى أن الحدس، «وهو قوة الفكر»، مصدر المعرفة الرياضية الخالصة. فالرياضيات تتوفر على أداة فريدة، هي الاستدلال بالاستقراء التام، تمكنها من الإمساك المباشر بعدد لانهائي من الأحكام الرياضية، الخاصة، بواسطة مبدأ عام، كما تمكّنها في الوقت ذاته من إنتاج حقائق جديدة لا تتضمنها المقدمات التي ينطلق منها البرهان. وبوانكاريه يقترب هنا من موقف كانت، خصوصاً عندما يساوي بين الأساس الذي يقوم عليه هذا النوع من الاستقراء وبين الأحكام التركيبية القبلية التي قال بها كانت. ان موقف بوانكاريه يتعارض تماماً مع موقف المناطقة وأنصار الاتجاه الأكسيومي. وقد قامت بينه وبين برتراند راسل مناقشة حادّة وخصبة حول البرهان الرياضي عامة، وطبيعة هذا الاستدلال التكراري خاصة. (انظر المقدمة التي كتبها جول فويان للكتاب الذي نقلنا منه هذا النص، والمشار إليه في الهامش أدناه)[1].

ـ ١ ـ

«يبدو أن إمكانية قيام العلم الرياضي تنطوي هي ذاتها على تناقض غير قابل للحل. فإذا قلنا إن هذا العلم ليس علماً استنتاجياً إلا من حيث المظهر كان علينا أن نتساءل: وما مصدر هذه الصرامة المنطقية التامة التي لا يمكن أن توضع موضع الشك؟ أما إذا قلنا، بالعكس من ذلك، إن جميع قضايا هذا العلم يمكن أن يستخلص بعضها من بعض، بواسطة قواعد المنطق الصوري، كان لا بد أن يواجهنا السؤال التالي: وإذن لماذا لا تنحل الرياضيات إلى مجموعة متراكمة من العبارات التوتولوجية، عبارات تكرارية من قبيل تحصيل الحاصل؟ ذلك لأن القياس المنطقي لا يستطيع أن يمدنا بشيء جديد حقاً. وعليه فإن كان كل شيء يجب أن ينبثق من مبدأ الهوية، فإنه من الواجب كذلك أن يرتد كل شيء إلى المبدأ ذاته.

(1) Henri Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*, préface de Jules Vuillemin, science de la nature (Paris: Flammarion, 1968), chap 1, pp. 31 - 45.

فهل سنقبل، إذن، أن تكون جميع النظريات التي تملأ الكثير من المجلدات الرياضية مجرد طرق ملتوية للتعبير عن: أ هي أ؟

لا شك أنه يمكن الرجوع القهقرى بالنظريات، إلى الأوليات التي شكّلت الأساس لعمليات الاستدلال جميعها. وإذا فعلنا ذلك وتبين لنا أنه لا يمكن الرجوع بتلك الأوليات إلى مبدأ التناقض، ولا الرجوع بها إلى التجربة التي نرى فيها ميداناً لا يشارك الرياضيات في ما تتصف به من ضرورة عقلية، فإنه يبقى بإمكاننا، مع ذلك حل ثالث، وهو تصنيفها ضمن الأحكام التركيبية القبلية. غير أن هذا الحل لا يجعلنا نتغلب على الصعوبة المطروحة، بل كل ما هناك أنه حل يبارك هذه الصعوبة نفسها مع تخفيفها بعض التخفيف. ان هذا التناقض لا ينجلي حتى ولو كانت الأحكام التركيبية بالنسبة إلينا واضحة لا لبس فيها، بل كل ما في الأمر هو أن هذا التناقض، يتوارى، في هذه الحالة، إلى الوراء قليلاً. فالاستدلال الذي يقوم على القياس المنطقي - الأرسطي - يظل عاجزاً عن إضافة أيّ جديد إلى المعطيات التي نمدّه بها، وهي معطيات تنحل إلى عدد من البديهيات (أوليات، مقدمات) لا يمكن أن نجد شيئاً آخر غيرها في النتائج.

وبناءً على ذلك، فإنه من غير الممكن إنشاء نظرية جديدة ما لم تتدخل، حين البرهان عليها، أولية جديدة. ان الاستدلال في هذه الحالة لا يمكن أن يمدّنا إلا بالحقائق الأولية المباشرة المستقاة من الحدس المباشر، فهو من هذه الناحية مجرد وسيط طفيلي، وبالتالي، ألا يحق لنا أن نتساءل: ألا يعمل الجهاز القياسي كله على إخفاء وطمر ما استقيناه من الحدس، أليست تلك هي مهمته الوحيدة؟

على أننا نواجه تناقضاً أكثر حدّة، خصوصاً عندما نلاحظ، ونحن نقرأ كتاباً من كتب الرياضيات، ان المؤلف لا يفتأ يصرّح في كل صفحة أنه ينوي تعميم قضية سبقت معرفتها، مما يدفع بنا إلى التساؤل: هل يقوم المنهاج الرياضي، اذن، على الانتقال من الخاص إلى العام؟ وإذا كان الأمر كذلك فكيف يجوز وصفه بأنه منهاج استنتاجي؟

وأخيراً، فإذا سلّمنا بأن علم العدد علم تحليلي محض، أو أنه علم يشيد بواسطة التحليل انطلاقاً من عدد قليل من الأحكام التركيبية، أفلا يمكن لعقل قوي بما فيه الكفاية إدراك جميع حقائق هذا العلم دفعة واحدة، وفي أقل من لمح البصر؟ ماذا أقول؟ بل يمكن أن نأمل أن نتمكن يوماً من اختراع لغة بسيطة جداً يكون في مستطاعها إظهار تلك الحقائق جميعها وتمكين العقل العادي من إدراكها كلّها ادراكاً مباشراً!

فإذا كنّا نرفض قبول هذه الاستنتاجات، فمن الواجب التسليم بأن الاستدلال الرياضي يتوفر هو نفسه على فضيلة الخلق والابداع، وبالتالي يتميز عن القياس. بل ان الفرق بينهما يجب أن يكون أعمق من ذلك. فنحن لا نجد مثلاً، في القياس، مفتاح ذلك السرّ الذي تنطوي عليه تلك القاعدة المستعملة بكثرة، والتي تنص على أنه إذا طبّقنا عملية واحدة منتظمة على عددين متساويين حصلنا على النتيجة نفسها.

إن جميع هذه الأشكال من الاستدلالات، سواء كانت ترتد إلى القياس المعروف أو لا ترتد، تحتفظ بالطابع التحليلي، ومن هنا كانت الاستدلالات عاجزة عن تقديم أي جديد.

- ٢ -

لننظر إذن إلى رجل الهندسة (= الذي يفكر بالحدس) وهو يستغرق في عمله، ولنحاول النفاذ إلى الطرق التي يتبعها. ان المهمة ليست سهلة، فلا يكفي أخذ كتاب ما بالصدفة، والقيام بتحليل برهان من البراهين التي يعرضها.

علينا أن نترك الهندسة جانباً في هذه المرحلة الأولى من البحث، فمسائل الهندسة يكتنفها التعقيد بسبب المشاكل الحادة التي يطرحها دور المسلّمات من جهة، وطبيعة وأصل مفهوم المكان من جهة أخرى. ولنترك التحليل، تحليل اللانهايات الصغرى، جانباً لأسباب مماثلة، ولندرس الفكر الرياضي في الميدان الذي ظل يحتفظ فيه بصفائه ونقاوته، ميدان الحساب.

ومع ذلك لا بد من الاختيار حتى في هذا الميدان نفسه. فالمفاهيم الرياضية الأولية الخاصة بالأعداد قد تعرّضت لتعديل عميق، خاصة في الجوانب العليا من نظرية الأعداد، الشيء الذي يجعل من الصعب علينا تحليل تلك المفاهيم الأولية في هذا الإطار.

وإذن، فإن التفسير الذي نبحث عنه، إنما نجده في بداية علم الحساب... (في عمليات الجمع والضرب..).

تعريف الجمع:

سأفترض أننا قد قمنا من قبل بتعريف عملية س + 1، العملية التي قوامها إضافة العدد 1 إلى عدد معين هو: س. ومهما يكن هذا التعريف الذي نفترضه، فهو لن يقوم بأي دور في ما سنبني عليه من استدلالات.

بعد هذه الملاحظة، يتعين علينا الآن تعريف العملية التالية: س + أ، العملية التي قوامها إضافة العدد أ إلى عدد معين هو: س.

لنفرض اننا قمنا بتعريف العملية التالية: س + (أ – 1). ففي هذه الحالة تصبح العملية س + أ محددة ومعرفة بواسطة المساواة التالية (التي نعطيها رقم 1).

$$\text{س} + \text{أ} = [\text{س} + (\text{أ} - 1)] + 1 \qquad (1)$$

إن هذا يعني اننا نستطيع أن نتبين معنى س + أ إذا عرفنا معنى س + (أ – 1). وبما أننا قد افترضنا في البداية اننا نعرف س + 1، فإنه بإمكاننا الآن أن نقوم بتعريف العمليات الآتية، وبالتتابع: س + 2، س + 3، الخ، وذلك بواسطة «التكرار» par recurrence (نعرف العملية الأولى، ثم الثالثة ثم الرابعة.. وهكذا كما سيأتي بيانه. (المترجم).

إن هذا التعريف ـ التعريف بالتكرار ـ يستحق منا وقفة قصيرة. انه تعريف من طبيعة خاصة تميزه، منذ الآن، عن التعريف المنطقي المحض. ان المساواة السابقة[1] تتضمن في الواقع عدداً لا يحصى من التعاريف المتمايزة. تعاريف لا معنى لأي منها إذا لم نكن نعرف معنى التعريف السابق له.

خصائص الجمع: الترابط.

إذا كتبت:

أ + (ب + ج) = (أ + ب) + ج.

فمن الواضح أن هذه المساواة صحيحة بالنسبة إلى ج = 1، وبالتالي بإمكاني أن أكتب:

أ + (ب + 1) _ (أ + ب) + 1

إن هذه المساواة هي في الحقيقة المساواة [1]نفسها التي استعملناها في تعريف الجمع، مع بعض الاختلاف في الترقيم.

لنفرض أن هذه المساواة الأخيرة صحيحة بالنسبة إلى: ج = ص وفي هذه الحالة تكون صحيحة أيضاً بالنسبة إلى: ج = ص + 1. ذلك لأنه من:

(أ + ب) + ص = أ + (ب + ص).

نستنتج:

[(أ + ب) + ص] + 1 = [أ + (ب + ص)] + 1

وبالنظر إلى التعريف الذي وضعناه في المساواة (1) نستطيع أن نكتب:

(أ + ب) + (ص + 1) = أ + (ب + ص + 1) = أ + [ب + (ص + 1)]

الشيء الذي يدل، بواسطة سلسلة من الاستنتاجات التحليلية المحض، على أن نظريتنا صحيحة بالنسبة إلى: ص + 1.

وبما انها صحيحة بالنسبة إلى: ج = 1، فإنه من السهل علينا أن نبرهن بالشكل نفسه على أنها صحيحة كذلك بالنسبة إلى: ج = 2، وبالنسبة إلى: ج = 3، وهكذا بالتتابع.

التبادل:

١) إذا قلت: أ + 1 = 1 + أ، فإن هذه المساواة صحيحة بطبيعة الحال بالنسبة إلى: أ = 1. وبإمكاننا أن نتحقق، بواسطة استدلالات تحليلية محض، من أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى: أ = ص، فهي صحيحة كذلك بالنسبة إلى: أ = ص + 1. وبما أنها صحيحة بالنسبة إلى: أ = 1، فهي ستكون صحيحة أيضاً بالنسبة إلى أ = 2، وبالنسبة إلى: أ = 3،

وهكذا بالتتابع. إن هذا هو ما نعنيه عندما نقول إن القضية المعلن عنها، قضية مبرهن عليها بالتكرار.

٢) وإذا قلت: أ + ب = ب + أ وهي مساواة برهنا قبل على أنها صحيحة بالنسبة إلى: ب = 1، وبالتالي يمكننا التأكد تحليلياً من أنه إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى: ب = ل، فستكون صحيحة بالنسبة إلى: ل + 1. وإذن، فإن هذه القضية مبرهن عليها، هي الأخرى، بالتكرار.

تعريف الضرب:

نقدم هنا تعريفاً للضرب بواسطة المعادلتين التاليتين:

أ × 1 = أ

أ × ب = [أ (ب - 1)] + أ (2)

إن المساواة الثانية (2) تتضمن مثل المساواة التي سبق أن رقمناها بـ (1) عدداً لا يحصى من التعاريف. وبما أننا قد عرفنا أ × 1، فإن هذه المساواة التي نشير إليها برقم (2) تسمح لنا بتعريف كل من أ × 2، وأ × 3، وهكذا بالتتابع.

خصائص الضرب: التوزيع.

إذا قلت:

(أ + ب) × ج = (أ × ج) + (ب × ج)

فإنه بإمكاننا أن نتأكد بطريقة تحليلية (منطقية) من أن هذه المساواة صحيحة بالنسبة إلى: ج = 1، ثم نستطيع كذلك إذا كانت النظرية صحيحة بالنسبة إلى: ج = ص، أن نتأكد من أنها صحيحة أيضاً بالنسبة إلى: ج = ص + 1.

التبادل:

١) وإذا كتبت:

أ × 1 = 1 × أ

فإنه من الواضح أن هذه المساواة صحيحة بالنسبة إلى: أ = 1. وبإمكاننا التأكد بطريقة تحليلية من أنه إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى: أ = س، فستكون صحيحة كذلك بالنسبة إلى: أ = س + 1.

٢) وإذا كتبت:

أ × ب = ب × أ

فإن هذه النظرية، بما أنها مبرهن عليها بالنسبة إلى: ب = 1، فهي تسمح لنا بالتأكد بطريقة تحليلية من أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى: ب = ل، فإنها ستكون صحيحة كذلك بالنسبة إلى: ب = ل + 1.

- ٣ -

سأتوقف عند هذا الحدّ من هذه السلسلة من الاستدلالات المملة. ولكن رتابة هذه الاستدلالات قد مكنتنا من أن نبرز بشكل أفضل العملية المنتظمة التي تصادفها عند كل خطوة نخطوها، العملية التي نسميها الاستدلال بالتكرار. وهو استدلال يقوم على البرهنة على صحة نظرية ما بالنسبة إلى: ن = ١، ثم البرهنة بعد ذلك على أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى: ن - 1 فهي صحيحة كذلك بالنسبة إلى: ن. ومن هنا نستنتج أنها صحيحة بالنسبة إلى جميع الأعداد الصحيحة.

لقد رأينا كيف يمكن استعمال هذا الاستدلال التكراري للبرهنة على قواعد الجمع والضرب، أي على قواعد الحساب الجبري. ان هذا الحساب هو أداة للتحويل تصلح للقيام بعدد من التأليفات المختلفة أكثر بكثير مما يسمح به القياس وحده. ولكنه في الوقت ذاته أداة تحليلية محض، أداة عاجزة عن تقديم أي جديد. فلو كانت الرياضيات لا تتوفر إلا على هذه الأداة - أي الحساب الجبري - لتوقفت في الحين عن النمو. غير أنه من حسن الحظ أنها تلجأ من جديد إلى الطريقة نفسها، أي إلى الاستدلال التكراري، وبذلك تستطيع السير قُدُماً إلى الأمام.

وإذا نحن فحصنا جيداً خط سير الرياضيات، وجدنا هذا النوع من الاستدلال في كل خطوة نخطوها، إما على شكله البسيط الذي عرضناه عليه قبل، وإما على شكل يختلف قليلا أو كثيراً.

ها هنا إذن يكمن الاستدلال الرياضي الحق. فلنفحصه عن قريب.

- ٤ -

إن الخاصية الأساسية للاستدلال التكراري هي أنه استدلال يشتمل على ما لا حصر له من الأقيسة (ج قياس = منطقي) تصاغ بشكل مركّز ومكثّف في عبارة واحدة. ولكي نلمس عن قرب حقيقة هذا الاستدلال سأذكر هنا تلك الأقيسة، الواحد بعد الآخر، وكما سنلاحظ فهي تتسلسل متدرجة على شكل شلال، ان صح التعبير. انها بطبيعة الحال أقيسة فرضية (مبنية على فرضيات).

- القضية (أو النظرية) المبرهن عنها صحيحة بالنسبة إلى العدد 1.

- والحال أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى العدد 1 فهي صحيحة كذلك بالنسبة إلى العدد 2.

- وإذن فهي صحيحة بالنسبة إلى العدد 2.

- هذا في حين أنه إذا صحت بالنسبة إلى العدد 2، فهي صحيحة أيضاً بالنسبة إلى العدد 3.

ـ اذن هي صحيحة بالنسبة إلى العدد 3. وهلم جرا.

وواضح من هذا أن نتيجة كل قياس هي مقدمة للقياس الذي يليه، وأكثر من ذلك فالمقدمات الكبرى في هذه الأقيسة يمكن إرجاعها جميعاً إلى عبارة وحيدة، هي التالية: إذا كانت النظرية صحيحة بالنسبة إلى: ن - 1، فهي صحيحة كذلك بالنسبة إلى أ ـ ن.

وهكذا يتبين، اذن، أنه في الاستدلالات القائمة على التكرار يكفي التصريح بالمقدمة الصغرى للقياس الأول، وبالعبارة العامة التي تشتمل على جميع المقدمات الكبرى كحالات خاصة منها. وبالتالي فإن سلسلة الأقيسة، هذه السلسلة الطويلة التي لا نهاية لحلقاتها، يمكن التعبير عنها كلها في بضعة أسطر.

من السهل علينا الآن أن نفهم السر في كون جميع النتائج الجزئية التي تستنتج من نظرية ما تقبل، كما شرحنا ذلك أعلاه، أن يتحقق من صحتها بواسطة أساليب تحليلية محض. فإذا كنا نريد البرهنة على أن النظرية صحيحة بالنسبة إلى العدد 6، مثلاً، بدلاً من البرهنة على صحتها بالنسبة إلى جميع الأعداد، فيكفي الإتيان بالأقيسة الخمسة الأولى (التي تبرهن على الأعداد من 1 إلى 5)، مثلما أنه يكفي الإتيان بالأقيسة التسعة الأولى من سلسلة أقيستنا، للبرهنة على صحة تلك النظرية بالنسبة إلى العدد 10. أما إذا كان العدد أكبر من 10 فسنحتاج بطبيعة الحال إلى أقيسة أكثر. ومهما كانت درجة هذا العدد من الكبر فإنه بإمكاننا دوماً البرهنة عليه بالطريقة نفسها، والتحقيق التحليلي (المنطقي) سيظل ممكناً باستمرار.

ومع ذلك، فإنه مهما سرنا بعيداً في سلوك هذه السبيل، فإننا لن نصل قط إلى النظرية العامة، النظرية القابلة للتطبيق على جميع الأعداد، النظرية الكلية التي تستحق هي وحدها أن تكون موضوعاً لعلم. فلا بد للحصول على هذه النظرية من عدد لا يحصى من الأقيسة، لا بد من اجتياز عقبة، هيهات للمحلل الذي يستمد أدواته التحليلية من منابع المنطق الصوري وحده، أن يتخطاها، مهما بلغ صبره.

لقد سبق لي أن تساءلت في بداية هذا الفصل: ألا يمكن أن نتصور عقلاً خارقاً، هو من القوة بحيث يمكنه إدراك جميع الحقائق الرياضية دفعة واحدة وبنظرة أقصر من لمح البصر؟

بإمكاننا الآن أن نجيب بسهولة عن هذا السؤال. إن لاعب الشطرنج يمكن أن يقوم مسبقاً بتأليف أربع أو خمس عمليات من عمليات اللعب. ولكنه لا يستطيع، مهما كانت قدرته خارقة المألوف، أن يحضر سوى عمليات محدودة. وإذا كان هذا الشخص يستغل موهبته العظيمة تلك في ميدان الحساب فإنه لن يستطيع أن يدرك حقائق هذا العلم بواسطة حدس واحد مباشر. فلا بد له لإدراك أصغر نظرية من اللجوء إلى الاستدلال التكراري، يستعين به لبلوغ ما يريد. ذلك لأن هذا الاستدلال هو الأداة التي تمكن من الانتقال من النهائي إلى اللانهائي.

إنه بالفعل أداة مفيدة باستمرار. ذلك لأن الاستدلال التكراري يجعلنا قادرين على خرق أي عدد نريده من المراحل. وبقفزة واحدة يكفينا مؤونة اجراء تحقيقات طويلة مملة

ورتيبة سرعان ما تصبح غير قابلة للتطبيق. ولكنه يصبح، ليس فقط مفيداً، بل ضرورياً بمجرد ما نتجه باهتمامنا إلى النظرية العامة، تلك النظرية التي تجعلنا التحقيقات التحليلية نقترب منها أكثر فأكثر، ولكن دون أن تتمكن من ايصالنا إليها.

قد يقال إننا هنا في ميدان الحساب، أبعد ما نكون من ميدان «التحليل»، تحليل اللانهايات الصغرى. ولكن هذا قول مردود، ففكرة اللانهائي الرياضي تلعب هنا دوراً أساسياً، كما رأينا ذلك قبل قليل، فبدون هذه الفكرة لن يكون هناك علم، لأنه بدونها لن يكون هناك أي شيء يتصف بالكلية والعمومية.

ـ ٥ ـ

إن الحكم العقلي الذي يرتكز عليه الاستدلال التكراري يمكن التعبير عنه بأشكال أخرى، إذ يمكن القول، مثلاً: هناك دوماً، في مجموعة لانهائية من الأعداد الصحيحة المختلفة، عدد أصغر من جميع الأعداد الأخرى التي تشتمل عليها تلك المجموعة. وهكذا يمكننا الانتقال بسهولة من قضية إلى أخرى، متوهمين هكذا أننا نبرهن على مشروعية الاستدلال التكراري. ولكن، هيهات. ذلك لأننا سنجد أنفسنا في مرحلة ما من المراحل مضطرين إلى التوقف. لا بد أن نصادف في طريقنا بديهية لا تقبل البرهان، بديهية ليست في العمق سوى القضية التي نريد البرهنة عليها، وقد صيغت بتعبير آخر.

وإذن، فمن غير الممكن تجنب النتيجة التالية، وهي أنه لا يمكن الرجوع بقانون الاستدلال التكراري إلى مبدأ التناقض. (أي لا يمكن إرجاع هذا النوع من الاستدلال إلى المنطق الصوري).

وبالمثل، لا يمكن تأسيس هذا الاستدلال على التجربة. ذلك لأن كل ما يمكن للتجربة أن تسعفنا به هو البرهان على أن هذا القانون صحيح بالنسبة إلى الأعداد العشرة أو المئة الأولى. إنها لا يمكن أن تتجاوز بنا ذلك إلى تلك البقية من الأعداد، وهي بقية لا نهاية لها ولا حصر. ان التجربة تستطيع أن تؤكد لنا صلاحية القانون ولكن فقط بالنسبة إلى جزء من الأعداد، كبيراً كان أو صغيراً، جزء تأتي بعده حتماً بقية لانهائية.

على أنه لو كان الأمر يتعلق بجزء من هذا النوع لكفانا مؤونته مبدأ التناقض نفسه، فهو يسمح لنا بالسير قُدُماً، بواسطة الأقيسة المنطقية، بقدر ما نريد. ان هذا المبدأ لا يعجز عن إسعافنا إلا عندما يتعلق الأمر بحصر ما لا نهاية له في عبارة واحدة، أي عندما يتعلق الأمر باللانهائي. وهذا هو الميدان نفسه الذي تعجز فيه التجربة.

وإذن، فهذا القانون (المؤسس للاستدلال التكراري) الذي يعجز التحليل المنطقي والتجربة معاً، عن البرهنة عليه، هو النموذج الحق للحكم التركيبي القبلي. ولا يمكن، من جهة أخرى، اعتباره مجرد مواضعة كما هو الشأن بالنسبة إلى بعض مسلمات الهندسة.

فلماذا يفرض هذا الحكم نفسه علينا بوضوح لا يقهر؟ ليس من سبيل لتفسير ذلك، إلا بكونه تعبيراً عن قوة الفكر، الفكر الذي يعرف قدرته على تصور ما لا نهاية له من عمليات التكرار التي يتعرض لها فعل ما، بمجرد ما يكون هذا الفعل ممكن الوقوع مرة واحدة. ان الفكر يعرف قدرته هذه، يدركها بحدس واحد مباشر. أما التجربة بالنسبة إليه فليست سوى مناسبة تمكنه من استعمال هذه القوة، ومن ثمة الشعور بها ووعيها.

قد يقال: إذا كانت التجربة الخام لا تستطيع أن تمنح المشروعية للاستدلال التكراري، فهل تعجز عن ذلك أيضاً التجربة المعززة بالاستقراء؟ ألسنا نقول عندما نلاحظ مثلاً أن نظرية ما صحيحة بالنسبة إلى العدد 1 ثم بالنسبة إلى العدد 2، ثم بالنسبة إلى العدد 3 وهكذا، ألسنا نقول في مثل هذه الحالة إننا أمام قانون واضح، لا يقل مرتبة عن أي قانون فيزيائي مستخلص من عدد كبير من الملاحظات، ولو أنه عدد محدود؟

الواقع انه لا يمكن للمرء أن يتجاهل اننا هنا بصدد تشابه مثير للانتباه بين الاستدلال التكراري والطرق المألوفة في الاستقراء. ومع ذلك هناك فرق أساسي يفرض نفسه. ان الاستقراء المعمول به في العلوم الفيزيائية استقراء لا يمدنا باليقين لأنه مبني على التسليم بوجود نظام في الكون، نظام خارج عن إرادة الإنسان. أما الاستقراء الرياضي، أي البرهان بالتكرار، فهو بالعكس من ذلك، يفرض نفسه علينا ضرورة، لأنه ليس شيئاً آخر سوى إقرار وتأكيد خاصية يتصف بها الفكر نفسه.

- ٦ -

يحاول الرياضيون دوماً، كما أشرت إلى ذلك آنفاً، تعميم القضايا التي حصلوا عليها. وحتى لا نأتي بأمثلة جديدة، نعود إلى المساواة التي برهنا عليها قبل قليل، وهي: أ + 1 = 1 + أ، والتي استخدمناها لإقامة المساواة التالية: أ + ب = ب + أ، التي هي أكثر عمومية، كما هو واضح، وهذا دليل على أن الرياضيات تستطيع، كغيرها من العلوم، السير في إنشاءاتها من الخاص إلى العام.

لا شك أن هذا ـ الانتقال من الخاص إلى العام في الميدان الرياضي ـ كان يستعصي على أفهامنا لو أننا قررناه في بداية هذه الدراسة، ولكنه لا يكتسي بالنسبة إلينا الآن أي مظهر من مظاهر الغموض واللبس، خصوصاً بعد أن لاحظنا ذلك التشابه القائم بين الاستدلال التكراري والاستقراء العادي.

نعم، ان الاستدلال الرياضي القائم على التكرار والاستدلال الفيزيائي الاستقرائي، يرتكزان على أسس مختلفة. ذلك شيء لا شك فيه. غير أن خط سير كل منهما مواز لخط سير الاخر، فهما يسيران في اتجاه واحد، أي من الخاص إلى العام.

لنفحص الأمر عن قرب.

للبرهنة على المساواة التالية: أ + 2 = 2 + أ ولنرمز إليها بـ (1)، يكفي تطبيق القاعدة التالية مرتين: أ + 1 = 1 + أ. وذلك كما يلي:

أ + 2 = أ + 1 + 1 = 1 + أ + 1 = 1 + 1 + أ = 2 + أ

ولنرمز لهذه السلسلة من المتساويات بـ (2).

إن هذه المساواة الأخيرة (2) التي استنتجناها بطريقة تحليلية محض من المساواة الأولى (1) ليست حالة بسيطة من هذه، بل هي شيء آخر. وبالتالي فإنه لا يمكن القول، حتى بالنسبة إلى ذلك الجزء من الاستدلال الرياضي الذي هو فعلاً تحليلي واستنتاجي، اننا ننتقل من العام إلى الخاص بالمعنى العادي للكلمة. ذلك لأن طرفي المساواة الثانية (2) هما فقط عبارة عن تأليفين أكثر تعقيداً من طرفي المساواة الأولى (1). والتحليل تنحصر مهمته في عزل العناصر التي تدخل في التأليفين المذكورين ودراسة العلاقات القائمة بينها.

نخلص من هذا إلى القول: إن الرياضيين يعتمدون في براهينهم على «البناء»، إنهم «ينشئون» ويشيدون تأليفات تزداد تعقيداً. ثم عندما ينزلون من هذه التأليفات والمجموعات التي أقاموها، سالكين مسلك التحليل، ليعودوا إلى العناصر الابتدائية التي تشكلت منها تلك التأليفات والمجموعات، يتبينون العلاقات التي تربط هذه العناصر ويستنتجون منها العلاقات التي تقوم بين المجموعات نفسها.

انها خطوات تحليلية محض. ولكنها خطوات لا تنتقل من العام إلى الخاص، لأن المجموعات لا يمكن النظر إليها، بطبيعة الحال، كحالات فردية بالقياس إلى عناصرها. (فالعناصر ليست أكثر عمومية من المجموعات التي تتألف منها).

لقد حظي هذا المسلك «الإنشائي» باهتمام خاص، ونظر إليه، بحق كشيء بالغ الأهمية، واعتبر شرطاً ضرورياً وكافياً لتقدم العلوم الحق.

أما أن يكون هذا المسلك الإنشائي شرطاً ضرورياً لتقدم العلم، فهذا ما لا يشك فيه أحد. ولكن أن يكون في الوقت نفسه شرطاً كافياً، فذلك ما لا نوافق عليه.

ذلك لأنه لكي يكون بناء ما مفيداً، لكي لا يكون مجرد عمل يرهق الفكر، ولكي يكون مستنداً يتكىء عليه كل من يريد الارتفاع إلى أعلى، يجب أن يكون متوفراً، أولاً وقبل كل شيء، على نوع من الوحدة، تمكّن الناظر من أن يتبين فيه شيئاً آخر يزيد على تراكم العناصر التي شيد بواسطتها. وبعبارة أخرى، يجب أن نعثر فيه على ما يحملنا على النظر إلى البناء بدل النظر إلى العناصر نفسها. يجب أن تكون هناك ميزة يختص بها البناء دون عناصره.

فماذا يمكن أن تكون هذه الميزة؟

لنطرح هذا السؤال: لماذا تعالج مضلّعاً كثير الاضلاع يتألف دوماً من عدد من

المثلثات، بدل النظر إلى هذه المثلثات نفسها، التي يتكوّن منها، وهي أكثر بساطة؟ ان ذلك يرجع إلى أن هناك خصائص يمكن البرهنة عليها، خصائص تتصف بها مضلعات ذات عدد ما من الأضلاع، ويمكن تطبيقها، بعد ذلك، وبصفة مباشرة على أي مضلّع آخر مهما كان. أما إذا أردنا البحث عن هذه الخصائص من خلال دراسة مباشرة للعلاقات القائمة بين المثلثات التي تتكون منها تلك المضلعات، فالغالب اننا لا نحصل عليها إلا بعد جهد جهيد. ومما لا شك فيه أن معرفتنا بالنظرية العامة ستجعلنا في غنى عن بذل مثل هذا الجهد.

ان تشييد بناءٍ ما لا يصبح مفيداً إلا إذا كان من الممكن اضافته إلى بناءات أخرى مماثلة له، تشكل معه أنواعاً من الجنس نفسه. فإذا كان رباعي الأضلاع شيئاً آخر يفوق المثلثين اللذين يتكون منهما، فما ذلك إلا أنه ينتمي إلى جنس المضلعات. وأكثر من ذلك يجب أن نكون قادرين على البرهنة على خصائص الجنس دون أن نكون مضطرين إلى إسنادها بالتتابع إلى كل واحد من الأنواع التي يشتمل عليها ذلك الجنس. ولكي نتمكن من ذلك لا بد من الصعود من الخاص إلى العام، ولا بد في هذا من تسلق مرحلة أو عدة مراحل. أما طريقة التحليل «بواسطة البناء» فهي لا تضطرنا إلى النزول من هذا البناء، بل تتركنا في مستوى البناء نفسه.

إننا لا نستطيع الارتفاع والتقدم إلا بالاستقراء الرياضي الذي هو وحده القادر على إمدادنا بأشياء جديدة. وبدون مساعدة هذا الاستقراء الذي يختلف من بعض الوجوه عن الاستقراء الفيزيائي، وفي الوقت ذاته يتصف بنفس خصوبته، يظل البناء الذي نحاول تشييده عاجزاً عن إنشاء العلم.

لنلاحظ أخيراً أن هذا الاستقراء لا يصبح ممكن الاستعمال إلا إذا كانت العملية الواحدة تقبل التكرار إلى ما لا نهاية له. ولهذا كانت نظرية لعبة الشطرنج عاجزة عن أن تتحول إلى علم. «ان تحركات دور من أدوار اللعب، تحركات لا يشبه بعضها بعضاً».

٦ ـ البنيات موضوع الرياضيات[1]

النص الذي نترجمه في ما يلي يشرح بشكل مبسط التصوّر المعاصر لموضوع الرياضيات، فالرياضيات هي فن دراسة وتصنيف البنيات. وبما أن البنيات الرياضية بنيات مجردة فمن المنتظر أن تكون محدودة العدد: لأن كل واحدة منها يمكن أن يعطى لها عدد كبير من التحقيقات المشخصة. ولما كانت ظواهر الطبيعة هي عبارة عن تحقيقات مشخصة من هذا النوع، فإن مهمة الرياضيات تصبح: رد كثرة الظواهر الطبيعية إلى أقل عدد ممكن من القوانين الرياضية ومن ثمة تصبح الفيزياء هي الصياغة الرياضية للطبيعة.

«... إن الاكتشافات الجديدة التي توصل إليها الرياضيون، أصناف جد متنوعة. إنها من التنوع إلى درجة جعلت البعض يقترح تعريف الرياضيات بكونها: «ما يفعله الرياضيون». وهناك شعور عام بأن تعريفاً واسعاً من هذا النوع هو وحده الذي بإمكانه استيعاب جميع الكشوف التي يمكن ضمّها إلى الرياضيات. والواقع ان الرياضيين يعالجون اليوم مسائل لم تكن تعتبر في الماضي مسائل رياضية. أما ماذا سيفعلونه في المستقبل، فذلك ما لا يستطيع أحد التنبؤ به!

بيد أنه من الممكن تعريف الرياضيات، تعريفاً دقيقاً شيئاً ما، كما يلي: «الرياضيات علم مهمته تصنيف جميع المشاكل الممكنة وتقديم الوسائل القادرة على ايجاد حلول لها». انه تعريف واسع عريض، مع ذلك. انه يدخل في الرياضيات أشياء لا نرغب فعلاً في أن يتضمنها تعريفنا لها.

واعتباراً لمتطلبات هذا الكتاب يمكن اعطاء التعريف التالي: «ان الرياضيات علم مهمته تصنيف جميع البنيات الممكنة». وكلمة «بنية» مستعملة هنا في معنى يختلف بدون شك، عن المعنى الذي يفهمه منها عامة الناس. يجب النظر إلى هذه الكلمة من خلال دلالتها الواسعة، بحيث تصبح قادرة على أن تشمل، تقريباً، كل شكل من أشكال

(١) Walter Warwick Sawyer, *Introduction aux mathématiques*, petite bibliothèque; 81 (Paris: Payot, 1966), pp. 10 - 13.

«الانتظام» يمكن إدراكه بالفكر. والحياة، وبالخصوص منها الحياة العقلية، ليست ممكنة، إلا لأنه يوجد في العالم بعض الاطراد والانتظام(٢). فالطائر الذي يقتات بالزنابير يتعرف عليها من خلال تلك الأشرطة السوداء والصفراء التي تزين أجسامها. والإنسان يعرف ان نمو النبتة يتبع دفن البذرة في التراب. ان الفكر في كل حالة مماثلة يشعر بوجود بنية، بوجود تصميم Plan.

ان البنية هي الشيء الوحيد الثابت نسبياً في عالم متغير على الدوام. ان اليوم ليس كالأمس، ولا يمكن أن يكون كذلك تماماً. ونحن لا نشاهد أبداً الصورة الواحدة من الزاوية نفسها. وإذا كان التعرف على الأشياء ممكناً، فهذا ليس راجعاً إلى أن التجربة تتكرر باستمرار، بل لأن في تيار الحياة بنيات تبقى ثابتة مطابقة لنفسها. فعندما أتحدث عن «دراجتي» أو عن «نهر أم الربيع» فإنني أتحدث ضمنياً عن بنية ما، تظل متصفة بالدوام والاستمرار، على الرغم من أن النهر يفرغ في البحر باستمرار.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى، فإنه لا بد لكل نظرية نشيدها حول الرياضيات من أن تأخذ بعين الاعتبار هذين الجانبين معاً: قدرة الرياضيات وسلطتها وتعدد تطبيقاتها في علوم الطبيعة من ناحية، وجمالها وتأثيرها السحري في الفكر من ناحية ثانية. ويبدو أن التعريف الذي قدمناه يرضي الجانبين معاً. ان جميع العلوم مبنية على الاعتقاد بوجود الانتظام في الطبيعة، وبالتالي فإن تصنيف مختلف أنواع الانتظام أي مختلف أصناف البنيات، يكتسي قيمة تطبيقية. والفكر يجد لذته في ممارسة مثل هذه الأبحاث. ان الضرورة والرغبة متحدتان في الطبيعة دوماً. فإذا كان القيام برد الفعل إزاء البنيات خاصية مميزة للحياة سواء لدى الإنسان أو لدى الحيوان، فمن الواجب أن نتوقع الشعور باللذة في رد الفعل هذا تماماً مثلما نجدها في رد الفعل الناتج من الجوع أو من الدافع الجنسي.

ومن المفيد أن نلاحظ أن الرياضيين الذين يشتغلون بالرياضيات المحض وحدها (= الرياضيات النظرية) والذين ليس لهم من دافع آخر يحركهم ويوجههم غير إحساسهم بـ «الصورة» الرياضية، كثيراً ما أنشأوا أفكاراً ونظريات تبين في ما بعد انها ذات أهمية بالغة بالنسبة إلى رجال العلم (= العلم التطبيقي، الفيزياء...). فلقد درس اليونان الاهليلج (أو القطع الناقص Ellipse) قبل أكثر من ألف عام من قيام كبلر باستعمال ما توصلوا إليه في هذا الموضوع، في التنبؤ بحركات الكواكب، والنظرية الرياضية الضرورية لنظرية النسبية كانت موجودة لمدة ثلاثين إلى خمسين عاماً قبل أن يجد لها اينشتين تطبيقاً فيزيائياً. ومن الممكن اعطاء أمثلة كثيرة أخرى مماثلة.

وهناك من جهة أخرى عدد كبير من أجمل النظريات الرياضية ولدت من خلال البحث

---

(٢) انظر: Henri Poincaré, *Science et méthode*, bibliothèque de philosophie scientifique (Paris: Flammarion, 1908).

في الظواهر الفيزيائية، نظريات جميلة جداً، لا يتردد أي من علماء الرياضيات النظرية في ضمّها إلى علمه، لما تتصف به من جمال داخلي.

البنية المفضلة لدى الطبيعة.

من الأمور الأخرى المثيرة للانتباه، أننا نجد في الطبيعة بنية واحدة تتمظهر غالباً في مظاهر متنوعة، كما لو أن عدد البنيات الممكنة عدد محدود. ان البنية التي يرمز لها الرياضيون بـ: Δ^2 س تصادفها، على الأقل، في اثني عشر فرعاً من فروع العلم: نجدها في الجاذبية، وفي الضوء، وفي الصوت، وفي الحرارة، وفي المغناطيس، وفي الكهرباء الستاتيكية، وفي التيار الكهربائي، وفي الإشعاع المغناطيسي، وفي أمواج البحر، وفي طيران الطائرات، وفي ذبذبات الأجسام المطاطة، وفي ميكانيكا الذرة، هذا فضلاً عن وجودها في نظرية رياضية محض، ذات أهمية كبرى، نظرية الدوال التي من نوع د (س + خ ص) التي يمثل فيها «خ» العدد التخيلي $\sqrt{-1}$.

إن التقنيين المتخصصين في العلوم التطبيقية وحدها يخطئون غالباً عندما ينظرون إلى الميادين التطبيقية المشار إليها، كميادين منفصل بعضها عن بعض ومتميزة عن بعضها بعضاً. ان في ذلك ضياعاً كبيراً للمجهودات. ليست هناك اثنتا عشرة نظرية، بل نظرية واحدة واثنا عشر تطبيقاً، تظهر فيها دائماً الشبكة نفسها من العلاقات، أي البنية نفسها.

إن التطبيقات التي تكتسيها هذه النظرية في الفيزياء يمكن أن تختلف عن بعضها بعضاً، يمكن أن تتمايز، ولكنها، من وجهة نظر الرياضيات، تطبيقات متماثلة متطابقة Identiques.

إن هذه الفكرة، فكرة وجود البنية نفسها في ظروف مختلفة، فكرة بسيطة جداً. ويكفي الرجوع بها إلى أصلها اليوناني لنحصل على مفهوم من أكثر المفاهيم رواجاً في الرياضيات، ونعني بذلك مفهوم التقابل Isomorphisme[3]. إن هذه الكلمة مشتقة من كلمتين يونانيتين (هما Iso ومعناها الشيء نفسه، وMorphé ومعناها شكل. فمعنى الكلمة اذن هو: الشكل نفسه). ولا شيء أكثر إثارة لمتعة الرياضي من اكتشافه وحدة وتطابق شيئين ينظر إليهما عادة على أنهما متمايزان. «إن العلم الرياضي، كما قال بوانكاريه، هو فن اعطاء الاسم نفسه لأشياء مختلفة».

بإمكاننا أن نتساءل: «لماذا نعثر غالباً على هذه البنية التي نمثل لها بـ Δ^2 س». إنه تساؤل يضعنا على حافة الصوفية الميتافيزيقية. ذلك لأنه لا يمكن تقديم جواب نهائي عن هذا السؤال. ولكن لنفرض أننا وجدنا بالفعل بعض الخصائص التي تجعل هذه البنية بنية ملائمة لعدد من الحالات، إننا في هذه الحالة نتساءل: «لماذا تفضل الطبيعة مثل هذه الخصائص؟»

---

(٣) انظر بخصوص هذا المفهوم الفصل الثاني من هذا الكتاب.

وهنا نتيه في متاهات لا آخر لها. ومع ذلك يمكن اعطاء نوع من الجواب بخصوص وجود Δ^2 س وجوداً متكرراً في الطبيعة[4].

إن استحالة تقديم جواب نهائي للسؤال: «لماذا كان الكون كما هو عليه» لا يعني اننا بصدد سؤال خال من الفائدة. إذ من الممكن أن نكتشف يوماً، ان جميع القوانين العلمية التي تمّ الكشف عنها، تتمتع بخصائص مشتركة. ويمكن للعالم الرياضي، الذي يبحث عن البنيات التي تتوفر فيها تلك الخصائص، ان يعتقد، ومعه الحق، في أن عمله هذا سيكون ذا فائدة كبيرة للأجيال المقبلة. ان هذا شيء غير مؤكد، بطبيعة الحال، فكل الاحتمالات ممكنة. ومن حق العالم الرياضي ان يتطلع إلى تحقيق رغبته الخاصة، رغبته في الاطلاع على الآلية العميقة التي يسير وفقها الكون، اطلاعاً دقيقاً.

---

(٤) لا شك أن تفسير هذه الظاهرة هو شيء من هذا القبيل: جميع النقط وجميع الاتجاهات، في الفراغ، متساوية، فلا أفضلية لنقطة على أخرى، ولا لاتجاه على آخر. ومن ثمة فإن القانون الذي يسري مفعوله في الفضاء الفارغ يكون واحداً بالنسبة إلى جميع النقط والاتجاهات، الشيء الذي يخفض عدد القوانين الممكنة إلى حد كبير. ان العبارة التالية Δ^2 س = 0 تشير إلى أن قيمة س (= السرعة) في كل نقطة تساوي متوسط القيم التي تكون لها (أي لـ س) على كرة مركزها تلك النقطة نفسها. ان هذا القانون يتناول جميع نقط المكان في الفراغ بنفس الشكل، وبأبسط صورة ممكنة.

٧ ـ الرياضيات والصياغة الأكسيومية[1]

من المعلوم أن جماعة من الرياضيين الفرنسيين الشبان قد بدأوا منذ أوائل الثلاثينات من هذا القرن، في صياغة مختلف فروع الرياضيات صياغة اكسيومية على أساس نظرية المجموعات. ومنذ ذلك الوقت وهم يعملون متعاونين وينشرون أبحاثهم تحت اسم واحد مستعار هو نيكولا بورباكي. ومن أهم الأبحاث التي أصدروها، تلك التي ضمنوها كتابهم العظيم «أصول الرياضيات»، ومن مقدمة الكتاب الأول نقتبس الفقرات التالية، وهي تلقي بعض الأضواء على المنهج الأكسيومي وعلم «ما بعد الرياضيات» الذي يعتبر امتداداً وتتويجاً له.

«منذ اليونان والناس يعتبرون الرياضيات مرادفة للبرهان، بل ان بعضهم يشك في إمكانية الحصول على براهين، خارج الرياضيات، بالمعنى الدقيق الذي أضفاه اليونان على كلمة برهان، والذي ننوي التمسك به في هذا البحث. صحيح ان هذا المعنى لم يتغير، لأن ما كان يعتبره أوقليدس برهاناً هو كذلك بالنسبة إلينا نحن. وصحيح أيضاً أنه في العصور التي تعرّض فيها البرهان الرياضي للضعف والانحلال، والتي وجدت الرياضيات فيها نفسها مهددة بالخطر، كانت نماذج البرهان يُبحث عنها عند اليونان. ولكن صحيح كذلك أنه قد انضافت إلى هذا الميراث الجليل، منذ قرن، انجازات هامة جداً.

والواقع أن تحليل آلية البراهين في نصوص مختارة بدقة، قد مكّن من استخلاص البنية الخاصة بها، سواء تعلّق الأمر بالمعنى أو بالمبنى. وهكذا تمّ التوصّل إلى النتيجة التالية، وهي أن النظرية الرياضية المعروفة بوضوح كاف، يمكن التعبير عنها بلغة اصطلاحية لا تشتمل إلا على عدد قليل من «الكلمات» الثابتة (= اللامتغيرة) يتم التأليف بينها حسب قانون للتركيب يتكوّن من قواعد قليلة تحترم احتراماً تاماً: والنظرية التي تعرض بهذا الشكل يقال عنها إنها مصاغة صياغة صورية (رمزية) Formalisée . إن تقديم عرض عن دور من أدوار لعبة

---

(1) Nicolas Bourbaki, *Eléments de mathématique*, actualités scientifiques et industrielles (Paris: Hermann, 1939), livre 1: *Théorie des ensembles*.

الشطرنج بواسطة المصطلحات والقواعد الخاصة بها، هو نوع من أنواع الصياغة الصورية، مثله في ذلك مثل عرض الجدول اللوغاريتمي. وكذلك الشأن أيضاً بالنسبة إلى عبارات الحساب الجبري العادي، فإنها هي الأخرى تصبح شكلاً من أشكال الصياغة الصورية لو أن القوانين التي تستعمل بموجبها الأقواس ـ في العمليات الجبرية ـ قوانين مقننة بدقة، ويُتقيد بها بصرامة. غير أن هذه القواعد لا تتعلم، في الواقع، إلا من خلال الاستعمال، وان هذا الاستعمال نفسه يسمح بخرقها أحياناً.

إن التحقق من صحة العرض الصوري لنظرية ما، لا يتطلب سوى نوع من الانتباه الآلي، وهذا راجع إلى أن الأخطاء التي يمكن الوقوع فيها، إنما ترجع أسبابها إلى ما قد يكتنف هذا العرض من طول أو تعقيد. من أجل ذلك كان العالم الرياضي كثيراً ما يضع ثقته في زميل له يقدم له نتائج عمليات حسابية جبرية، إذا ما تبين له أن تلك العمليات غير طويلة، وأنها قد تم القيام بها بما يلزم من العناية. وعلى العكس من ذلك النظرية التي تعرض بطريقة غير صورية؛ انها في هذه الحالة معرضة لخطأ من أخطاء الاستدلال، خطأ قد يجر إليه مثلاً، عدم الاحتياط في استعمال الحدس، أو اللجوء إلى المقايسة والمماثلة. والواقع ان الباحث الرياضي الذي يريد التأكد من صحة وصرامة برهان ما، قلّما كان يلجأ إلى الصياغة الصورية الكاملة التي أصبح بإمكاننا اليوم القيام بها. بل انه غالباً ما يتقاعس عن الاستعانة حتى بالصياغات الصورية الجزئية الناقصة التي يقدمها له الحساب الجبري أو غيرها من الصياغات المماثلة. إنه يقتنع في الغالب بالتوقف عند المرحلة التي يشعر فيها بفضل تجربته وحاسته الرياضية، ان ترجمة هذا العرض إلى اللغة الصورية لن تكون سوى نوع من أنواع التدريب على المثابرة والصبر (تدريب متعب بدون شك). وإذا ما حدث أن تعرّض عمله هذا لبعض الشكوك، وهذا شيء يحدث مراراً كثيرة، فإنها ـ أي الشكوك ـ ستتركز حول إمكانية صياغته صياغة صورية بدون أدنى لبس، إما لأن كلمة ما بعينها قد استعملت في معانٍ مختلفة باختلاف السياق، وإما لأن قواعد التركيب لم تحترم الاحترام اللازم بسبب استعمال لاشعوري لأشكال من الاستدلال لا تسمح به هذه القواعد، وإما لأن خطأ مادياً قد ارتكب، وإذا نحن استثنينا هذا الاحتمال الأخير، فإن تصحيح الخطأ لا بد أن يتم عاجلاً أو آجلاً بطريقة واحدة لا تتبدل، هي صياغة ذلك العرض صياغة أقرب ما تكون من الصياغة الصورية الحق، أي السير بهذه الصياغة إلى الدرجة التي يرى الرياضيون أنه مما لا طائل تحته المضي إلى أبعد منها. وبعبارة أخرى، إنه باللجوء إلى المقارنة الصريحة، تقريباً، مع قواعد لغة صورية، تتم محاولة تصحيح العرض الذي يقدمه الرياضي حول نظرية من النظريات.

والمنهاج الأكسيومي في معناه الأصلي ليس شيئاً آخر سوى فن عرض النظريات بشكل يجعل من السهل تصور صياغتها بطريقة رمزية، ولا يتعلق الأمر هنا باختراع جديد. غير أن استعماله بشكل منهجي ومقنن كأداة للاكتشاف هو من بين المعالم الأصيلة للرياضيات المعاصرة. فإذا كنا بصدد تحرير أو قراءة نص مصاغ صياغة صورية رمزية فإن المهم، ليس اعطاء هذه الكلمة أو هذا الرمز، هذا المعنى أو ذاك، أو عدم اعطائها أي معنى، بل المهم، هو فقط، التقيد بقواعد الصياغة واستعمالها استعمالاً سليماً. وهكذا، فالعمليات الحسابية

الجبرية نفسها، يمكن كما نعرف جميعاً، أن تستعمل لحل مشاكل تدور حول الوزن (الكيلوغرامات) أو النقد (الفرنكات) أو حول أشكال هندسية كالقطع المكافىء، أو السرعات المتسارعة بانتظام. وتلك ميزة تنطبق، للسبب نفسه على كل نص (= نظرية) يعرض بالطريقة الأكسيومية.

إن هذه الإمكانية التي يقدمها لنا المنهاج الأكسيومي، إمكانية اعطاء مضامين مختلفة عديدة للكلمات أو المفاهيم الأولية التي ترد في نظرية ما، هي ذاتها مصدر مهم لإغناء قدرة الرياضي على الحدس، الحدس الذي ليس من الضروري أن يكون من طبيعة حسية أو مكانية (هندسية) كما يعتقد أحياناً، بل الحدس الذي هو بالأحرى نوع من المعرفة بسلوك الكائنات الرياضية، معرفة يستعين فيها الباحث أحياناً بصور من طبيعة مختلفة جداً، ولكنها معرفة تعتمد قبل كل شيء على معايشة تلك الكائنات يومياً. وهكذا نتأدى، غالباً، عندما نكون إزاء نظرية ما، إلى دراسة جملة من الخصائص تهمل عادة في هذه النظرية، وندرس بكيفية منظومية في نظرية أكسيومية عامة تضم النظرية المذكورة كحالة خاصة منها. (مثال ذلك: الخصائص التي يرجع أصلها التاريخي إلى حالة خاصة أخرى لهذه النظرية العامة). وأكثر من ذلك، وهذا ما يهمنا بالخصوص في هذا الكتاب، فإن المنهاج الأكسيومي يسمح لنا، عندما نكون إزاء كائنات رياضية معقدة، بعزل خصائصها وربطها بعدد قليل من المفاهيم. وبعبارة أخرى، وهنا نستعمل كلمة سنحدد المقصود منها بدقة في ما بعد، فإن المنهاج الأكسيومي يمكننا من تصنيف تلك الخصائص حسب البنيات التي تنتمي إليها، (مع العلم بأن بنية واحدة يمكن أن تشمل كائنات رياضية مختلفة).

* * *

وكما ان الاستعمال الصحيح للغة ما، يسبق قواعدها النحوية، فكذلك المنهاج الأكسيومي. فقد استعمل هذا المنهاج قبل اكتشاف اللغات الرمزية بزمن طويل. غير أن استعماله بوعي لا يمكن أن يتم إلا بمعرفة المبادىء العامة التي تخضع لها تلك اللغات وعلاقاتها بالرياضيات المتداولة. ولذلك سنبدأ أولاً في هذا الكتاب بشرح اللغة الرمزية، بل سنعرض أيضاً للمبادىء العامة التي يمكن أن تطبق في لغات رمزية أخرى متعددة، ولو أن لغة واحدة، من هذه اللغات تكفينا في موضوعنا هذا. والواقع أنه بينما كان الناس يعتقدون من قبل أن كل فرع من فروع الرياضيات يتطلب نوعاً خاصاً من الحدس يمده بمفاهيمه وحقائقه الأولية، الشيء الذي أدى، ضرورة، إلى تخصيص كل فرع من فروع الرياضيات بلغة رمزية تناسبه، فإننا نعرف اليوم أنه من الممكن، منطقياً، اشتقاق الرياضيات الحالية، كلها تقريباً، من مصدر واحد، هو نظرية المجموعات. ولذلك فإنه يكفي القيام بعرض مبادىء لغة رمزية وحيدة، وبيان كيف يمكن أن نعرض بواسطتها نظرية المجموعات، ثم بيان كيف تندمج في هذه النظرية فروع الرياضيات، الواحدة تلو الأخرى. إننا لا ندعي ان محاولتنا هذه ستبقى صالحة إلى الأبد، إذ من الممكن أن يتفق الرياضيون يوماً على استعمال طرق أخرى في الاستدلال، لا تقبل الصياغة الأكسيومية التي تعتمدها هنا. وفي هذه الحالة سيصبح من

الضروري توسيع قواعد الصياغة، هذا إذا لم يتطلب الأمر العدول تماماً عن هذه الصياغة إلى طريقة أخرى. ان المستقبل وحده هو الذي سيقرر ما يجب القيام به.

* * *

على أنه لو كانت الرياضيات بسيطة مثل بساطة لعبة الشطرنج، لكان يكفي عرض البراهين بواسطة اللغة الرمزية التي اخترناها، كما يفعل مؤلف كتاب في الشطرنج، إذ يكتفي بتسجيل الأجزاء التي يريد تعليمها مصحوبة ببعض التعاليق. ولكن الأمور في الرياضيات ليست بمثل هذه السهولة. ولا شيء كالممارسة الطويلة يستطيع اقناع المرء باستحالة تحقيق هذا المشروع. فالبدايات الأولى لنظرية المجموعات تتطلب وحدها مئات من الرموز لكي يصبح في الإمكان صياغتها صياغة صورية رمزية كاملة. ولذلك سنكون، منذ الجزء الأول من هذا الكتاب أمام ضرورة تفرض نفسها، ضرورة اختصار الصياغة الأكسيومية بإدخال كلمات جديدة تسمى «الرموز المختصرة» وقواعد تركيبية اضافية (تسمى «المعايير الاستنتاجية»). وبهذا تصبح أمام لغات أكثر مرونة من اللغة الرمزية بالمعنى العادي للكلمة، لغات يشعر الرياضي ما دامت تجربته قليلة، انها بمثابة كتابة ستينوغرافية (اختزالية) للغة الأولى، هذا في وقت نحن فيه غير متيقنين بعد من أن المرور من احدى هذه اللغات الرمزية العامة إلى أخرى يمكن أن يتم بكيفية آلية محض، الشيء الذي يستوجب، على الأقل، تعقيد القواعد التي تتحكم في استعمال الكلمات الجديدة إلى درجة تصبح معها غير مفيدة تماماً. هنا، وكما هو الشأن في الحساب الجبري وفي جميع الرموز التي يستعملها الرياضيون عادة، تفضل الآلة المرنة على آلة أخرى أكثر كمالاً من الناحية النظرية، ولكنها أقل ملاءمة إلى درجة كبيرة جداً.

وكما سيرى القارىء، فإن استعمال هذه اللغة المكثفة يكون مصحوباً دائماً بـ «استدلالات» من نوع خاص، استدلالات تسمى: ما بعد الرياضيات Métamathématique. إن هذا الفن، إذ يغض النظر نهائياً عن الدلالة التي يمكن أن تعطى للكلمات والجمل التي تتكون منها النصوص الرياضية المصاغة صياغة أكسيومية، يعتبر هذه النصوص نفسها كأشياء جد بسيطة، ومعطاة مسبقاً، لا يهم فيها إلا الترتيب الذي نرتبها به. وكما ان كتاب الكيمياء، مثلاً، يعلن مسبقاً عن نتيجة تجربة ما تجري في ظروف معينة، فإن «استدلالات» ما بعد الرياضيات تعمل هي الأخرى، عادة، على تأكيد: أنه بعد سلسلة متتابعة من العمليات التي نجريها على نص من نوع معين نتأدى إلى نص آخر سيكون من نوع غير ذلك النوع.

٨ ـ الهيكل المعماري للصرح الرياضي[1]

تكتسي المقالة التي نترجم هنا أهم فقراتها، أهمية كبيرة من حيث انها احدى المراجع الأساسية التي تحدد، بكيفية مركزة وعامة، وجهة نظر جماعة نيكولا بورباكي، أي جماعة الرياضيين الفرنسيين الذين دأبوا منذ الثلاثينات من هذا القرن على إعادة صياغة الرياضيات، صياغة أكسيومية على أساس نظرية المجموعات. إن المقالة تطرح عدة قضايا أساسية في فلسفة الرياضيات: الفرق بين المنهاج الأكسيومي والنزعة الرمزية الصورية (المنطق الرمزي)، دور الحدس في الرياضيات المعاصرة، ونوعية هذا الحدس. والأهم من هذا وذاك هو أن المقالة تشرح البناء الداخلي للرياضيات المعاصرة، البنيات ـ الأم في المركز، ثم البنيات المتفرعة عنها. أضف إلى ذلك أن المقالة تتضمن الرد على خصوم الاتجاه الأكسيومي، كما تطرح مشكلة العلاقة بين الرياضيات والتجربة. مما يجعل من هذا النص تتمة وتوضيحاً للنص السابق. هذا وننبه القارىء إلى ضرورة الرجوع إلى ما كتبناه في الفصل الخامس من هذا الكتاب حول البنيات ونظرية الزمر حتى يتمكن من استدراك بعض فقرات المقالة التي لم نر ضرورة لترجمتها بعد أن عرضنا بتفصيل، في الفصل المذكور، للقضايا التي تتحدث عنها.

النزعة المنطقية والمنهاج الأكسيومي

«. . . وما كاد يتضح فشل مختلف المنظومات التي أشرنا إليها أعلاه، حتى خيّل للناس في بداية هذا القرن أنه وقع التخلي نهائياً عن اعتبار الرياضيات علماً يتميز بموضوع ومنهاج خاصين به. لقد ساد الاعتقاد بأن الرياضيات مجرد «سلسلة من الفنون يقوم كل منها على مفاهيم خاصة ومحددة بدقة»، فنون يربط بينها «ألف رباط»، الشيء الذي يجعل منهاج كل فن منها قادراً على إغناء الفنون الأخرى، كلها أو بعضها (برانشفيك، مراحل الفلسفة الرياضية، ص ٤٤٧). أما اليوم، وعلى العكس تماماً مما ذكر، فإن الرأي السائد هو أن

---

(١) Nicolas Bourbaki, «L'Architecture des mathématiques,» dans: François Le Lionnais. *Les Grands courants de la pensée mathématique*, nouvelle éd. augmentée, l'humanisme scientifique de demain (Paris: A. Blanchard, 1962).

التطور الداخلي للعلم الرياضي قد عمل، على الرغم من جميع المظاهر المخالفة، على توثيق عرى الوحدة بين مختلف أجزائه أكثر من أي وقت مضى، وأنه بالإضافة إلى ذلك، خلق فيه نواة مركزية تتمتع بانسجام لم يعرف له مثيل من قبل. لقد اعتمد هذا التطور، في جوهره على تنظيم ومنهجة العلاقات القائمة بين مختلف النظريات الرياضية. انه التطور الذي يعكسه ويعبر عنه ذلك الاتجاه الذي يطلق عليه، بكيفية عامة، اسم: «المنهاج الأكسيومي».

يطلق على هذا الاتجاه أحياناً اسم «النزعة الرمزية» Formalisme أو «المنهاج الرمزي»، وهنا نبادر إلى التنبيه إلى ذلك الخطر الذي ينجم عن الخلط الذي يتسبب فيه هذان المصطلحان اللذان يفتقدان إلى مزيد من الضبط والدقة. وهذا بالضبط ما دأب خصوم الأكسيوماتيك على استغلاله. اننا نعرف جميعاً ان ما يطبع الرياضيات من الخارج هو تلك «السلسلة الطويلة من الاستدلالات» التي تحدث عنها ديكارت، والتي تجعل من كل نظرية رياضية سلسلة من القضايا يستنتج بعضها من بعض، حسب قوانين منطق، هو أساساً، ذلك الذي تمّ تقنينه منذ أرسطو، والمعروف بـ «المنطق الصوري»، منطق تمّ تكييفه بالشكل الذي يجعله يتلاءم مع حاجات وأهداف رجل الرياضيات. ومن هنا صار من الأمور الواضحة المبتذلة، القول: بأن هذا «الاستدلال الاستنتاجي» هو مبدأ وحدة الرياضيات. غير أن الاقتصار، في هذا المجال، على ملاحظة سطحية، كهذه، لا يساعد قط على ادراك درجة التعقيد الذي تتسم به مختلف النظريات الرياضية، تماماً مثلما أنه لا يجوز الجمع بين الفيزياء والبيولوجيا، مثلاً، في علم واحد، بدعوى أنهما معاً يطبقان المنهاج التجريبي. ان هذا النوع من الاستدلال ـ الذي يراد جعله مبدأ وحدة الرياضيات ـ القائم على تسلسل الأقيسة المنطقية هو عبارة عن أداة تحويل، تطبق بدون تمييز، على جميع أنواع المقدمات، وبالتالي هو لا يستطيع إضفاء أي طابع خاص على هذه المقدمة أو تلك. وبعبارة أخرى انه الصورة الخارجية (= الصورة في مقابل المادة Forme) التي يعطيها الرياضي لتفكيره. انه المطية التي تجعل هذا التفكير قابلاً للتواصل والتطابق مع أنواع أخرى من التفكير[2]. إنه، بأوفق عبارة، اللغة الخاصة بالرياضيات، ولا ينبغي البحث فيه عن شيء آخر. ان تقنين هذه اللغة وترتيب كلماتها، وتوضيح نحوها (= قواعدها) شيء مفيد جداً، وهو يشكل فعلاً وجهاً من وجوه المنهاج الأكسيومي، الوجه الذي يمكن أن نطلق عليه حقاً اسم الرمزية المنطقية Le formalisme logique (أو كما يقال أيضاً: «اللوجستيك»). ولكن، وهذا ما نلح عليه، ليس هذا سوى وجه واحد، الوجه الأقل أهمية.

إن ما يضعه الأكسيوماتيك هدفاً أساسياً له، هو بالضبط ما لا تستطيع الرمزية المنطقية وحدها القيام به، نعني بذلك تعقل الرياضيات تعقلاً عميقاً. وكما ان المنهاج التجريبي ينطلق

---

(٢) إن جميع الرياضيين يعرفون أن البرهان لا يكون «مفهوماً» تمام الفهم ما دام الاهتمام محصوراً في التحقق، خطوة خطوة، من صحة الاستنتاجات الواردة فيه، دون محاولة القيام بتصور واضح للأفكار التي قادت إلى تفضيل طريقة بناء هذه السلسلة من الاستنتاجات على الطرق الأخرى.

من الايمان، ايماناً مسبقاً، بدوام قوانين الطبيعة، فإن المنهاج الأكسيومي يمهد نقطة ارتكازه في الاقتناع بأنه إذا لم تكن الرياضيات مجرد سلسلة من الأقيسة المنطقية تجري بالصدفة، فإنها ليست بالأحرى، مجموعة من العمليات والأساليب الذكية السحرية، ولا مجرد مقارنات اعتباطية تطغى فيها الحذاقة الفنية المحض. وهكذا، فحيث لا يرى الملاحظ الذي لا يشاهد إلا ما هو سطحي، سوى نظريتين أو أكثر، منفصلة كل منها عن الأخرى، في الظاهر، وتقومان، بفضل تدخل عبقرية رجل رياضي، بـ «تبادل المساعدة» (برانشفيك، نفس المرجع، ص ٤٤٦)، يحثنا المنهاج الأكسيومي على البحث عن الأسباب العميقة لهذا الذي لاحظه صاحبنا، والكشف عن الأفكار العامة المشتركة المختبئة تحت الجهاز الخارجي للجزئيات الخاصة بكل واحدة من تلك النظريتين أو النظريات، كما يدفعنا هذا المنهاج، إلى استخراج تلك الأفكار العامة وعزلها عن الجزئيات، قصد دراستها وإلقاء الضوء عليها.

المنهاج الأكسيومي والبنيات الرياضية(٣)

كيف يتم ذلك؟ هنا يقترب الأكسيوماتيك، اقتراباً أكثر، من المنهاج التجريبي. انه، إذ يغرف من المعين الديكارتي، يعمل على «تجزئة الصعوبات حتى يستطيع حلها بطريقة أفضل». وهكذا، يعمد إلى تحليل البراهين ـ الخاصة بنظرية من النظريات ـ ليستخلص منها حلقاتها الأساسية التي تربط سلسلة الاستدلالات التي تشتمل عليها تلك البراهين، ثم بعد أن يأخذ كل واحدة منها على حدة ويضعها كمبدأ مجرد، يعمل على استخراج نتائجها، ليعود أخيراً إلى النظرية المدروسة، فيؤلف من جديد بين عناصرها الأساسية التي سبق عزلها، ويدرس كيف يؤثر بعضها في بعض. نعم ليس هناك أي جديد في هذه المزاوجة بين التحليل والتركيب، ولكن أصالة المنهاج كامنة كلها في الكيفية التي تطبق بها هذه العملية التحليلية التركيبية.

لعل ما قلناه قبل، يكفي لجعل القارىء يأخذ فكرة، واضحة نوعاً ما، عن المنهاج الأكسيومي. لقد اتضح مما سبق أن أبرز فوائد هذا المنهاج هو أنه منهاج يحقق اقتصاداً كبيراً في الفكر. ان الباحث الرياضي الذي يطبق المنهاج الأكسيومي ينصرف بكامل اهتمامه إلى «البنيات» التي هي أدواته في العمل والبحث. وهكذا فبمجرد ما يتبين العلاقات التي تقوم بين العناصر التي يدرسها والتي تكفي ـ أي العلاقات ـ للحصول على بنية من أوليات معروفة، يصبح ماسكاً بالجهاز الذي ينظم القضايا العامة المتعلقة بجميع البنيات التي من هذا النوع، الشيء الذي ليس بإمكان الباحث، غير المستعمل المنهاج الأكسيومي، الحصول عليه إلا بعد بحث طويل ومضن عن أدوات أخرى، غير البنيات، تتوقف فعاليتها على موهبته الشخصية وتقترن غالباً بفرضيات حدسية مقيدة نابعة من الخصائص الجزئية للمشكل

---

(٣) هذا العنوان والذي يليه من وضعنا. (المترجم).

المدروس. وإذن، يمكن القول إن المنهاج الأكسيومي هو «النظام التايلوري»[1] الخاص بالرياضيين.

على أن مقارنة المنهاج الأكسيومي بنظام تايلور لا تفي بجميع خصائص هذا المنهاج، ذلك لأن الباحث الرياضي لا يقوم بأبحاثه بكيفية آلية، مثلما يشتغل العامل كحلقة من السلسلة التي ينتمي إليها في العمل. فهناك عنصر آخر يقوم بدور هام في البحث الرياضي، يجب ابرازه، انه نوع من الحدس خاص، يختلف تماماً عن الحدس الحسي المعروف لدى جميع الناس، انه نوع من الحذر المباشر (سابق على كل استدلال) يمكّن الباحث الرياضي من توقع سلوك الكائنات الرياضية التي يتعامل معها، والتي أصبحت لديه، نظراً لمعايشته لها مدة طويلة، مألوفة بالدرجة نفسها التي هي مألوفة لدينا كائنات العالم الواقعي. هذا ما يجعل لكل بنية رياضية لغة خاصة بها، لغةً تتردد فيها أصداء حدسية خاصة نابعة من النظريات التي سبق للتحليل الأكسيومي أن استخلص منها تلك البنية، كما بيّنا ذلك أعلاه. ان هذه الأصداء الحدسية هي، بالنسبة إلى الباحث الذي يكتشف فجأة هذه البنية في الظواهر التي يدرسها، بمثابة نداء مباغت، يستقطب، دفعة واحدة، التيار الحدسي لتفكيره، ويوجهه إلى وجهة أخرى غير منتظرة، وينير بضوء جديد المشهد الرياضي الذي يتحرك فيه.

لنحاول الآن تمثل صرح العالم الرياضي كله، متخذين من التصور الأكسيومي دليلاً ومرشداً. من المؤكد أننا لن نجد في هذا الصرح ذلك الترتيب التقليدي الذي يقتصر، مثله مثل التصنيف القديم لأنواع الحيوانات، على تصنيف النظريات على أساس تشابه مظاهرها الخارجية. وهكذا، فبدلاً من الجبر والتحليل، ونظرية الأعداد، والهندسة، التي كان يُنظر إليها كفروع يسكن كل منها بيتاً خاصاً به، ويتمتع باستقلاله، سنجد مثلاً نظرية الأعداد الأولية جنباً إلى جنب مع نظرية المنحنيات الجبرية، كما نجد الهندسة الأوقليدية مرتبة مع المعادلات التكاملية. أما مبدأ هذا التنظيم الجديد، لفروع الرياضيات، فليس شيئاً آخر غير مبدأ تراتب البنيات تراتباً هرمياً متدرجاً، يسير من البسيط إلى المركب، من العام إلى الخاص.

وهكذا نجد في مركز الصرح الرياضي العام، الأصناف الكبرى من البنيات.. البنيات ـ الأم، إذا صح التعبير. وكل صنف منها يقبل تنوّعاً كبيراً: فإلى جانب البنية العامة، أو البنية ـ الأم، التي تبنى على أقل عدد من الأوليات، هناك بنيات أخرى فرعية نحصل عليها بإضافة أوليات أخرى إلى هذه البنية العامة، الشيء الذي تترتب عنه نتائج جديدة وفيرة. وهكذا، فنظرية الزمر المؤسسة على أوليات عامة صالحة لجميع أصناف الزمر،

---

(1) نظام تايلور Système Taylor طريقة في تنظيم العمل داخل المصانع الكبرى، كمصانع السيارات مثلاً حيث يتم العمل بشكل سلسلة ولا يتيح للعامل أية فرصة لـ «إضاعة» الوقت. وتايلور مهندس أمريكي صاحب هذا النظام (١٨٥٦ ـ ١٩١٥). (المترجم).

وهي الأوليات التي شرحناها آنفاً[٥]، تتضمن في جوفها نظرية خاصة بالزمر النهائية (ونحصل عليها بإضافة أولية جديدة، إلى الأوليات المذكورة، أولية تنص على أن عدد عناصر الزمرة نهائي) ونظرية أخرى خاصة بالزمر الأبلية Groupes Abeliens (ونحصل عليها بإضافة أولية جديدة تنص على أن: س حط ص = ص حط س، مهما كانت س، ص)[٦]، كما تتضمن أيضاً نظرية ثالثة خاصة بالزمر الأبلية النهائية (ونحصل عليها بإضافة الأوليتين المذكورتين آنفاً، إلى أوليات الزمرة العامة). وهكذا أيضاً نميز في المجموعة المرتبة بين مجموعات كلية الترتيب، ومجموعات جيدة الترتيب: الأولى هي المجموعات التي يمكن أن نقارن فيها بين أي عنصر من عناصرها (والتي تخضع لمثل الترتيب الذي ترتب به عادة الأعداد الصحيحة أو الأعداد الحقيقية)، أما الثانية وهي تحظى باهتمام كبير من طرف الرياضيين، فقد سميت مجموعات جيدة الترتيب، لأن كل مجموعة جزئية فيها تتوفر على عنصر أصغر من جميع عناصرها الأخرى (يكون مقامه كمقام الصفر بالنسبة إلى الأعداد الصحيحة)[٧]، هذا، وهناك تدرج مماثل في البنيات الطوبولوجية.

وإذا نحن ابتعدنا قليلاً عن هذا المركز، وجدنا بنيات يمكن أن نطلق عليها اسم: البنيات المزدوجة multiples، وهي بنيات تنتج من المزاوجة بين بنيتين أو أكثر من البنيات - الأم. مزاوجة قوامها، لا مجرد التجميع والتراكم (الشيء الذي لا يأتي بأي جديد)، بل التأليف العضوي الذي هو عبارة عن عملية دمج، تتم بواسطة أولية واحدة أو أكثر، تشد البنيات المتزاوجة بعضها إلى بعض شداً متيناً. وهكذا نجد مثلاً الجبر الطوبولوجي الذي يدرس البنيات التي تشتمل في آن واحد، على قانون تركيبي - أو أكثر - وطوبولوجية واحدة، يربط بينها الشرط التالي: وهو أن العمليات الجبرية يجب أن تكون دوالّ متصلة (للطوبولوجية المختارة)، تتحدد قيمها بالعناصر التي تؤسس البنية المدروسة. كما نجد أيضاً الطوبولوجيا الجبرية التي تتناول مجموعات من النقط المكانية، تتحدد بواسطة خصائص طوبولوجية، كعناصر تجرى عليها قوانين التركيب. وهناك ثالثاً النتائج الخصبة التي نحصل عليها بالتأليف بين البنيات الجبرية، وبنيات الترتيب.

وبعيداً عن هذا أو ذاك، تبدأ في الظهور النظريات الخاصة، بمعنى الكلمة، النظريات التي تنتج من اعطاء فردية متميزة خاصة لعناصر المجموعة المدروسة، العناصر التي تبقى غير محددة المحتوى داخل البنيات - الأم. وهنا نلتقي مع فروع الرياضيات الكلاسيكية: الدوال التي يكون متغيرها عدداً حقيقياً أو مركباً، الهندسة التفاضلية، الهندسة الجبرية، نظرية الأعداد. لقد فقدت الآن هذه الفروع، أو النظريات، استقلالها الذاتي الذي كانت تتمتع به

(٥) يحيل صاحب المقالة إلى فقرات شرح فيها مفهوم الزمرة وخصائصها، ونحن لم نر ضرورة لترجمة هذه الفقرات لأننا شرحنا بتفصيل نظرية الزمر في الفصل الخامس، فليرجع القارئ إليه.

(٦) الرمز (حط) الذي نستعمله هنا يشير إلى تطبيق علاقة، كعلاقة الجمع أو الضرب مثلاً. انظر الفصل الخامس من هذا الكتاب.

(٧) انظر الفصل الثالث من هذا الكتاب.

من قبل (= قبل الصياغة الأكسيومية)، وأصبحت عبارة عن «ملتقى طرق» تتقاطع فيه وتتبادل التأثير، عدة بنيات رياضية أكثر عمومية.

الأكسيوماتيك وعلاقة الرياضيات بالواقع التجريبي

لم ينشأ هذا التصور (الجديد للرياضيات)، الذي حاولنا عرضه أعلاه، دفعة واحدة. بل لقد كان نتيجة تطور متواصل منذ أكثر من نصف قرن[8]، تطور اعترضت سبيله مقاومة عنيفة، سواء من جانب الفلاسفة، أو من جانب الرياضيين أنفسهم. لقد ظل كثير من علماء الرياضيات ولمدة طويلة، يرون في الأكسيوماتيك مجرد مهارة منطقية فارغة، عاجزة عن إغناء أية نظرية. ومن دون شك فإن هذا النقد كان نتيجة حادث تاريخي عرضي: فالصياغات الأكسيومية الأولى، وقد ترددت أصداؤها بشكل واسع، (مثل الصياغة الأكسيومية للحساب التي قام بها كل من ديدكند Dedekind وبيانو Péano والصياغة الأكسيومية للهندسة الأوقليدية التي قام بها هلبر Hilbert)، تناولت نظريات وحيدة القيمة Univalentes أي نظريات تحددها تحديداً كاملاً، المنظومة العامة لأولياتها، المنظومة التي لا تقبل التطبيق بالتالي، على أية نظرية أخرى غير تلك التي استخلصت منها (وذلك على العكس تماماً مما رأيناه في نظرية الزمر). إنه لو كان الأمر كذلك بالنسبة إلى جميع البنيات، لكانت الدعوى التي تنسب العقم إلى المنهاج الأكسيومي، دعوى مشروعة ومبررة كامل التبرير. ولكن هذا المنهاج قد برهن على ديناميته ومطواعيته خلال استعماله. وإذا كان هناك من لا يزال يشمئز من هذا المنهاج، فإن هذا راجع إلى كون الفكر بطبيعته يشعر بالعياء عندما يطلب منه، حينما يكون أمام مشكلة مشخصة، القيام بحدس (يستلزم تجريداً عالياً وصعباً أحياناً)، غير ذلك الحدس الذي توحي به مباشرة المعطيات الماثلة أمامه، حدس لا يقل خصوبة عن هذا الحدس المشخص المباشر.

أما بالنسبة إلى اعتراضات الفلاسفة فهي تتناول ميداناً لا تملك الكفاءة اللازمة للخوض فيه بجد. نعني بذلك: المشكلة الكبرى التي تطرحها علاقة العالم التجريبي بالعالم الرياضي. أما أن يكون هناك اتصال وطيد بين الظواهر التجريبية والبنيات الرياضية، فذلك ما يبدو أن الفيزياء المعاصرة قد أكدته بكيفية لم تكن منتظرة. ولكن، رغم ذلك، فإننا نجهل الأسباب العميقة التي تجعل هذا الاتصال ممكناً، وربما سنظل جاهلين بذلك إلى الأبد. وعلى أية حال، فهناك ملاحظة يمكن أن تحمل الفلاسفة في المستقبل على مزيد من الحذر والتروي: لقد بذلت مجهودات ضخمة، قبل التطور الثوري الذي عرفته الفيزياء الحديثة، من أجل استخراج الرياضيات، مهما كان الثمن، من الحقائق التجريبية، خاصة منها الحدوس المكانية المباشرة. ولكن الذي حدث هو التالي: فمن جهة أوضحت فيزياء الكوانتا[9] أن هذا الحدس

---

(٨) كتبت المقالة في أواخر الأربعينيات. (المترجم).

(٩) انظر الجزء الثاني من هذا الكتاب.

«الماكروسكوبي» للواقع يتناول ظواهر «ميكروسكوبية» من طبيعة مختلفة تماماً، ظواهر تنتمي إلى فروع من الرياضيات لم يكن يُتصور أنها متطبّق في العلوم التجريبية. ومن جهة أخرى أوضح المنهاج الأكسيومي أن الحقائق التي كان ينظر إليها على أنها تشكل محور الرياضيات ليست في الواقع سوى مظاهر جزئية لتصورات ومفاهيم عامة جداً، لم تكن تلك المظاهر تحد قط من حصيلتها وإمكانياتها، وذلك إلى درجة أن هذا الاندماج الخفي بين الرياضيات والواقع التجريبي الذي كثيراً ما طلب منا أن نتأمل ضرورته وانسجامه، لم يعد، في نهاية المطاف، سوى التقاء عرضي بين علمين تقوم بينهما روابط هي من الخفاء أكثر مما كان يفترض قبلاً.

إن الرياضيات في المنظور الأكسيومي، عبارة عن خزّان من الصور المجرّدة، أي البنيات الرياضية، والذي يحدث ـ دون أن نعرف لماذا؟ ـ هو أن بعض مظاهر الواقع التجريبي تتقولب في بعض هذه الصور، وكأنها قد أعدت من قبل لهذا الغرض. ولا يمكن للمرء، بطبيعة الحال، أن يتجاهل أن كثيراً من هذه الصور كانت في الأصل ذات محتوى حدسي محدد. ولكن إفراغ هذه الصور، بكيفية إرادية، من ذلك المحتوى الحدسي، هو بالضبط ما جعلنا نعرف كيف نعطيها كل الفعالية التي كانت لها بالقوة (مقابل بالفعل)، وكيف نجعل منها صوراً تقبل تفسيرات جديدة، وتقوم بدورها الكامل كقوالب.

إنه فقط بهذا المعنى لكلمة «صورة» يمكن القول إن المنهاج الأكسيومي صياغة صورية محض Formalisme. إن الوحدة التي يمنحها المنهاج الأكسيومي للرياضيات ليست ذلك اللحام الذي يقدمه المنطق الصوري، ليست وحدة هيكل بدون حياة. بل انها الطاقة الحيوية المغذية لجسم في ريعان نموه، إنها الأداة المرنة الخصبة التي ساهم في صنعها، بوعي، منذ كوس Causs، جميع الرياضيين الكبار، جميع أولئك الذين عملوا دوماً على تعويض «الحساب بالأفكار»، حسب تعبير لوجون ديريشي «Lejeune - Dirichet».

٩ ـ حدود المنهاج الأكسيومي[١]

يعالج هذا النص الذي نقتبسه من كتاب بلانشي «الأكسيوماتيك» حدود هذا المنهاج. وهكذا فبعد أن شرح المؤلف أهمية المنهاج الأكسيومي بالنسبة إلى مختلف العلوم الرياضية والمنطقية والفيزيائية، وبعد أن أبرز فضائله ومحاسنه، يعمد في هذا النص إلى بيان حدوده، ومنتهى صلاحيته. إن أهمية هذا النص ليست راجعة فقط إلى بيان ان المنهاج الأكسيومي لا يمكن أن يكفي بنفسه، بل لا بد له من حدس الشخص يتخذه أساساً ومنطلقاً. ولا بد له كذلك من حدس عقلي يتدخل في أعلى مراحله، بل إن أهميته راجعة كذلك إلى أنه يطرح بعض مشكلة الصياغات المنطقية المجردة وتوقفها دوماً على حدس المشخص.

«... ومع ذلك فإن فوائد هذا المنهاج يجب أن لا تحجب عنا حدوده ومنتهى صلاحيته. وعلينا أن نتذكر أولاً أنه لا يمثل سوى وجه واحد من وجوه العلم، وان رجل الرياضيات ورجل المنطق نفسيهما لا يبقيان إلى الأبد غير مهتمين بالحقيقة المادية التي تتضمنها القضايا الرياضية والمنطقية. وإذا كان بوسع رجل الحساب أن يدعي انه لا يهتم قط بالحقيقة المادية فهو لا يستطيع أن ينكر أنه يتعامل باستمرار مع عدد من «النظريات التطبيقية»، هي في الحقيقة والواقع قوانين استقرائية، وذلك على الرغم من أنه يعتبرها من مستوى أدنى بالنسبة إلى ميدانه المجرد. وهكذا يبدو واضحاً أننا لا نستطيع السير بهذا المنهاج إلى أبعد مدى، حتى في هذا المجال الذي نسلك فيه عادة مسلكاً أكسيومياً. ان هذا المنهاج، باعتماده الصورية المحض، يزعم أنه يعمل على أبعاد الحدس وتعويضه، لا بالاستدلال بل حتى بعمليات حسابية، أي بجملة من الرموز تستعمل استعمالاً منظماً آلياً، هذا في حين ان الصورية المحض لا يمكن أن تستمر في أداء وظيفتها دون أن تضطر إلى الاستنجاد بالحدس مرتين، في البداية وفي النهاية.

ففي البداية تعتمد الصورية المحض على الحدس المشخص الذي يشكل سندها الأول، ذلك ان الصياغة الأكسيومية لا تنطلق من الأوليات إلا في الكتب، أما في ذهن الرياضي، فإن الأوليات لا تبرز إلا في نهاية المطاف. إن المنهاج الأكسيومي يتطلب مسبقاً

---

(١) Robert Blanché, *L'Axiomatique*, initiation philosophique; 17 (Paris: Presses universitaires de France, 1970), pp. 87 - 91.

وجود استنتاج مادي حتى يتمكن الرياضي من أن يضفي عليه شكلاً صورياً. وهذا الاستنتاج المادي نفسه يتطلب لكي يوجد، القيام باستقراء طويل لجمع مواد معينة، يقوم هو بتنظيمها. (واذن فالخطوة الثانية هي تركيب عمليات استنتاجية على هذا الاستقراء، ثم تأتي بعد ذلك الخطوة الثالثة وهي صياغة هذا الاستنتاج صياغة أكسيومية) وعليه فإن ما يقوم به الأكسيوماتيكي (أي الشخص الذي يشيد الأكسيوماتيك) حقيقة ليس استنتاج النتائج من مبادىء أولية معطاة، بل انه يقوم بالعكس من ذلك، بالبحث عن عدد قليل من المبادىء التي يمكن أن تستنتج منها مجموعة معطاة من القضايا (وهي القضايا التي تم الحصول عليها بالاستقراء والاستنتاج). واذن فلا بد من التحليل الاستقرائي الذي ينتقل من الحوادث إلى القانون، كمرحلة أولى، ثم تأتي بعد ذلك المرحلة الثانية وهي التحليل الأكسيومي الذي ينتقل من القوانين إلى الأوليات والذي يعتمد الصياغة الاستنتاجية المنظومية. وعندما تترجم هذه الأوليات إلى رموز، وعندما تحدد قواعد التركيب، تستطيع الصياغة الصورية، حينذاك فقط، إهمال المضامين الحدسية الأصلية، هذه المضامين التي حددت، أول الأمر، شكل البناء الأكسيومي، والتي تعمل بعد ذلك على رسم معالمه وحدوده، وعلى ضمان وحدته، وحدته العضوية التي تجعل منه ليس مجرد حشد عرضي للأوليات، بل بناء منظوماً متماسكاً. ان عيب الصياغة الأكسيومية الجافة، بالنسبة إلى عقول غير مهيّأة يكمن في كونها تترك انطباعاً قوياً في النفس، بأنها صياغة اعتباطية فارغة، ذلك لأنه لا يشعر بفائدة الأكسيوماتيك ولا يشعر بجمال بنائه إلا من سبق له أن استوعب جملة المعارف المشخصة التي تعطيها الصياغة الأكسيومية شكلها التخطيطي وقالبها المنطقي. ان الصياغة الأكسيومية لا تشيَّد من أجل مجرد اللعب، بل من أجل الاستعمال، مثلها في ذلك مثل الأدوات الفكرية نفسها. والشخص الذي يحصر مهمته في التنظير المحض أي في بناء أداة يستعملها آخرون، يضطر هو الآخر إلى النظر إلى الأداة التي شيدها باعتبارها طرازاً ما Modèle، هو نفسه الطراز الرمزي[٢].

هناك حد آخر يقف عنده استعمال المنهاج الأكسيومي كشفت عنه نقيضة النظرية التي شيدها سكوليم Skolem، ومؤداها أن أية منظومة تتجاوز مستوى أولياً معيناً وتتوفر على طراز في ميدان معلوم، لا بد أن يكون لها طراز آخر في مجال الأعداد الطبيعية، مع العلم بأن مجموعة الأعداد الطبيعية مجموعة لانهائية قابلة للعد[٣]. وعليه، فإن الصياغة الأكسيومية تعمل، بمعنى ما من المعاني، على القضاء قضاءً مبرماً على جميع القوى التي هي أعلى من قوة اللانهائي القابل للعد. فلا يمكن مثلاً تصور المتصل كشيء يمتاز بخصوصية بنيوية، بواسطة

---

(٢) انظر الفصل الثاني، فقرة شروط الأكسيوماتيك وخصائصه. المقصود من مصطلح طراز. (المترجم).

(٣) يقال لمجموعتين أن لها نفس القوة عندما يكون في الإمكان إقامة تناظر وحيد الاتجاه بين عناصرهما (أي عندما يكون لكل عنصر في إحدى المجموعتين عنصر واحد، وواحد فقط، يناظره في المجموعة الأخرى، والعكس أيضاً). ويقال للمجموعات المتناهية إن لها نفس القوة إذا كانت تشتمل على نفس العدد من العناصر. أما بالنسبة إلى المجموعات اللامتناهية فإن أضعف قوة هي قوة المجموعة القابلة للعد، (أي المجموعة اللانهائية للأعداد الطبيعية). وأما بالنسبة إلى قوة المتصل (مثل نقط الخط أو مجموعة الأعداد الحقيقية)، فهي أكبر من قوة المجموعة القابلة للعد. وأخيراً نشير إلى أنه يمكن دائماً إنشاء مجموعة تتجاوز قوتها قوة مجموعة ما، مهما كانت.

المنهاج الأكسيومي لأن أية صياغة أكسيومية للمتصل لا بد أن تكون من طراز يقبل العد. وقد توصل فون نومان Von Neuman إلى نتائج مماثلة، في ما بعد، حينما بيّن أن قوة مجموعة ما تتوقف، من حيث الكبر والصغر، على أكسيوماتيك هذه المجموعة. وهكذا فإذا كان من فوائد المنهاج الأكسيومي أنه يوحد بين عدة منظومات تقابلية Isomorphes على أساس تطابق بنياتها، فإنه من المؤكد الآن، بعد الذي قلناه، أنه إذا كانت المنظومات التي يوحد بينها المنهاج الأكسيومي، منظومات يمكن أن لا تكون تقابلية، فذلك لأن هذا المنهاج تفلت منه بعض خصوصيات البنيات، مما يجعله غير قادر على التمييز بينها. ان التمييز بين هذه البنيات، في مثل هذه الأحوال، يستلزم الرجوع إلى الحدس ضرورة.

وكما يعتمد المنهاج الأكسيومي على الحدس المشخص كمنطلق وبداية، مما يجعله محدوداً به من الأسفل، فإنه يلتقي في نهاية المطاف بنوع آخر من الحدس يحده من أعلى، هو الحدس العقلي، ذلك لأنه إذا كان المنهاج الأكسيومي يستطيع فعلاً مطاردة هذا الحدس والرمي به بعيداً أثناء سيره، فإنه لا يستطيع قط القضاء عليه بشكل نهائي تام. إن النظرية المصاغة صياغة أكسيومية تطرد الحدس وتلقي به في «ما بعد النظرية» Métathéorie[4]، وعندما تقوم الصياغة الصورية الرمزية لما «بعد النظرية» بطرد الحدس من ميدانها، يلجأ هذا الأخير إلى «ما بعد النظرية» Méta-métathéorie، وهلمّ جرا. وهكذا فإن ممارسة الصياغة الصورية تستلزم دوماً لمحة من لمحات الفكر (الحدس)، وهذا ما أوضحته نظريات كوديل Gödel للرمزيين أنفسهم، تلك النظريات التي قورن دورها هنا بدور علاقات الارتياب[5] التي قال بها هايزنبرغ في الفيزياء الكوانتية. فكما أنه لا يمكن التخلص نهائياً من تأثير النشاط التجريبي في محتوى الملاحظة، فكذلك الشأن بالنسبة إلى النشاط الذهني، فهو لا يمكن التحرر منه تماماً في المنظومات الأكسيومية الصورية الرمزية. إنه لا يمكن التخلص من الذات، سواء رضينا بهذا أم كرهنا. ومن هنا جاء رد فعل النزعة الحدسية. يقول هايتنغ: «اننا لا نقبل أن تؤدي الطريق التي يسلكها العلم إلى إلغاء الفكر».

والواقع انه حتى عندما يتعلق الأمر بمنظومات أولية ضعيفة (من حيث درجة الصورية) إلى درجة ينعدم فيها، أو يكاد، تأثير نظرية كوديل، فإن إدراك التناظر والمقايسة بين التأويل الموضوعي والتأويل البنائي للرموز والعبارات ـ التي تتألف منها هذه المنظومات ـ يتطلب، مثله مثل إدراك التورية (البلاغية)، مبادرة يقوم بها الذهن (أي يتطلب نوعاً من الحدس). وعلى العموم، فإن مجموعة من الرموز التي تسود بياض الورقة لا يمكن أن يرى المرء فيها أي برهان على عدم التناقض، مثلاً، إلا إذا كان يعرف كيف يقرؤها بوصفها كذلك.

---

(٤) «ما بعد النظرية»: النظرية التي تصاغ فيها نظرية أكسيومية ما صياغة صورية رمزية أعلى درجة. قارن: الرياضيات بما بعد الرياضيات، والمنطق بما بعد المنطق، والنظرية (الرياضية أو المنطقية) بما بعد النظرية. (المترجم).

(٥) هي عبارة عن قانون يثبت عدم إمكانية القول بالحتمية في ظواهر الميكروفيزياء. انظر الجزء الثاني من هذا الكتاب.

إن الخدمة التي يسديها لنا المنهاج الأكسيومي ليست كامنة في كونه يلغي الحدس ويبعده نهائياً، بل في كونه يحتويه ويحصره في ذلك الميدان الضيق الذي لا يمكن الاستغناء عنه فيه. إن إحلال أداة صناعية محل عضو جسماني، ثم تعويض هذه الأداة بآلة ميكانيكية، ثم تزويد هذه الآلة بأجهزة تمكنها من الانتظام الذاتي، شيء مفيد، ما في ذلك شك. ولكن يجب أن لا ننسى أن هذه الآلة تتطلب، مهما كانت درجتها من الكمال، مراقبة بشرية مستمرة لكي تشتغل بانتظام ودقة، دَعْ عنك صنعها واستعمالها. انها تحتاج دوماً إلى تدخل خارجي مهما كانَ هذا التدخل بسيطاً وعلى فترات. والآلة الذهنية، مثلها مثل الآلة الصناعية، لا يمكن الركون إليها والثقة بها حقاً، إلا إذا كنا متأكدين تماماً، انها خالية من العيوب، وانها لا تعرض لا للعطب ولا للخلل، وانها تقوم، في جميع الأحوال والظروف بتطبيق القواعد بدون أدنى التباس، وأنها لا تسمح لنا بالانسياق مع أنواع من الاثبات والنفي، متعاقبة وغير مضبوطة، شبيهة بتلك التي تنطوي عليها النقائض الكانتورية (نقائض نظرية المجموعات). ولذلك كان الموقف الصائب، بدون شك، هو النظر إلى الحدس والصياغة الصورية كطرفين يراقب الواحد منها الآخر: الصياغة الصورية تجنبنا الوقوع في الأخطاء التي يتسبب فيها الحدس الجامح المفرط، ولكن شريطة أن تخضع، هي نفسها، لمراقبة نوع من الحدس خفيف.

وفوق ذلك كله، فلا أحد يعترض جدِّياً على الدور الذي يحتفظ به الحدس في الاكتشاف. إن وظيفة أي منهج، مهما كانت خصوبته، تنحصر أساساً في عملية التنظيم والتوثيق، وإذا شئنا أضفنا إلى ذلك عملية مد النتائج إلى مدى أبعد. ولكن هذا يتطلب دوماً وجود ميدان وقع تثبيته من قبل. ان المنهج ينظم المعلومات المتوفرة ويسدّ الثغرات فيها ويربط بين أطرافها، ولكنه لا يأتي بأي شيء جديد جدة حقيقية. إن الاكتشافات التي تحدث الهزات هي من عمل العبقرية التي تزعزع المناهج. ان الاكتشاف والبرهان كلاهما ضروري للعلم الذي يحتاج إلى الفكر الذي يكسر القيود بقدر حاجته إلى الفكر الذي يضع القيود. ومن هذه الناحية أيضاً يكمّل الحدس والمنطق أحدهما الآخر، حسب تنوع المعقول وتقلبات التاريخ. ذلك ما يقرره مؤلف ليس أقل تحمساً للمنهاج الأكسيومي. يقول هذا المؤلف: في فترات النمو والتوسع، عندما تدخل إلى الميدان مفاهيم جديدة، يصعب في الغالب تحديد شروط استعمال هذه المفاهيم تحديداً دقيقاً. وبتعبير أوفى، يمكن القول: لا يمكن القيام بهذا التحديد المضبوط بكيفية معقولة، إلا بعد أن تخضع هذه المفاهيم للاستعمال مدة طويلة، الشيء الذي لا بد فيه من عمل توضيحي تطول مدته أو تقصر، ترافقه شكوك ومناقشات وجدال. وعندما تنتهي هذه الفترة، فترة الرواد التي تكتسي طابعاً بطولياً، يمكن للجيل التالي، حينذاك فقط، القيام بتقنين أعمال الرواد، وتطهيرها من الزوائد، وتوطيد أسسها، وبكلمة واحدة، إعادة البناء بنظام وترتيب. وهنا، في هذه الفترة بالذات، تكون الكلمة العليا للأكسيوماتيك بمفرده، ويبقى الحال كذلك إلى أن تقوم ثورة جديدة تحدثها فكرة جديدة»[٦].

---

(٦) J. Dieudonné, «L'Axiomatique dans les mathématiques modernes,» dans: François Le Lionnais, *Les Grands courants de la pensée mathématique*, nouvelle éd. augmentée, l'humanisme scientifique de demain (Paris: A. Blanchard, 1962).

المـراجـع

١ ـ العربية

كتب

إخوان الصفاء. **رسائل إخوان الصفاء**. بيروت: دار صادر؛ دار بيروت، ١٩١٧. ٤ ج.

انجلز، فريدريك. **انتي دوهرنـغ**. ترجمة فؤاد أيوب. دمشق: دار دمشق للطباعة والنشر، ١٩٦٥.

ـــــ. **نصوص مختارة**. اختيار وتعليق جان كانابا؛ ترجمة وصفي البني. دمشق: منشورات وزارة الثقافة، ١٩٧٢.

برول، ليفي. **فلسفة أوكست كونت**. ترجمة محمود قاسم والسيد بدوي. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، [د. ت.].

الخوارزمي، أبو عبد الله محمد بن أحمد. **مفاتيح العلوم**. عني بتصحيحه ونشره إدارة الطباعة المنيرية. القاهرة: مطبعة الشرق، ١٣٤٢هـ.

راسل، برتراند. **أصول الرياضيات**. ترجمة محمد مرسي أحمد وأحمد فؤاد الأهواني. ط ٢. القاهرة: جامعة الدول العربية؛ دار المعارف، ١٩٥٨. ٣ ج. (مكتبة الدراسات الفلسفية)

ـــــ. **مقدمة للفلسفة الرياضية**. ترجمة محمد مرسي أحمد. القاهرة: مؤسسة سجل العرب؛ المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب، ١٩٦٢.

ريشنباخ، هانز. **نشأة الفلسفة العلمية**. ترجمة فؤاد زكريا. القاهرة: دار الكتاب العربي للطباعة والنشر، ١٩٦٨.

غارودي، روجيه. **النظرية المادية في المعرفة**. ترجمة ابراهيم قريط. دمشق: دار دمشق للطباعة والنشر، [د. ت.].

الفارابي، أبو نصر محمد بن محمد. **إحصاء العلوم والتعريف بأغراضها**. تحقيق عثمان محمد أمين. ط ٣. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٦٨.
الفندي، محمد ثابت. **أصول المنطق الرياضي**. بيروت: دار النهضة العربية، ١٩٧٢.
ـــــ. **فلسفة الرياضة**. بيروت: دار النهضة العربية، ١٩٦٩.
محمود، زكي نجيب. **المنطق الوضعي**. ط ٤. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٦٦. ٢ ج.
موري، بول. **المنطق وفلسفة العلوم**. ترجمة فؤاد زكريا. القاهرة: دار نهضة مصر للطبع والنشر، [د. ت.].

٢ ـ الأجنبية

Books

Bachelard, Gaston. *La Formation de l'esprit scientifique: Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris: J. Vrin, 1938.
———. *Le Nouvel esprit scientifique*. Paris: Librairie Félix Alcan; Presses universitaires de France, 1934. (Nouvelle encyclopédie philosophie; 2)
———. *La Philosophie du non: Essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique*. Paris: Presses universitaires de France, 1949. (Bibliothèque de philosophie contemporaine)
Bernard, Claude. *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Librairie delagrave, 1920.
Blanché, Robert. *L'Axiomatique*. Paris: Presses universitaires de France, 1970. (Initiation philosophique; 17)
———. *L'Epistémologie*. Paris: Presses universitaires de France, 1972. (Que sais-je?; no. 1475)
Boll, Marcel. *Histoire des mathématiques*. 11[e] édition. Paris: Presses universitaires de France, 1968. (Que sais-je?; no. 42)
Bouligand, Georges. *Les Aspects intuitifs de la mathématique*. Paris: Gallimard, 1944. (L'Avenir de la science, nouv. sér.; no. 2)
Bourbaki, Nicolas. *Eléments de mathématique*. Paris: Hermann, 1939- (Actualités scientifiques et industrielles)
Boutroux, Pierre Léon. *L'Idéal scientifique des mathématiciens dans l'antiquité et les temps modernes*. nouvelle éd. Paris: Presses universitaires de France, 1955; 1974. (Nouvelle collection scientifique)
Brunschvicg, Léon. *Les Etapes de la philosophie mathématique*. Nouveau tirage augmenté d'une préface de Jean-Toussaint Desanti. Paris: A. Blanchard, 1972.

Combès, Michel. *Fondements des mathématiques*. Paris: Presses universitaires de France, 1971. (SUP. Initiation philosophique; 97)

Comte, Auguste. *Cours de philosophie positive*. Paris: Librairie Garnier Frères, [s.d.].

Carnap, R. *Le Problème de la logique de la science*. Traduction par Heman Vuillemin.

Daval, Simone et Bernard Guillemain. *Philosophie des sciences*. Paris: Presses universitaires de France, 1950. (Cours de philosophie et textes choisis)

Les Dictionnaires du savoir moderne: Les Mathématiques.

Fataliev, Kh. *Le Matérialisme dialectique et les sciences de la nature*. Moscou.: Editions du progrès, [s.d.].

Ginestier, Paul. *La Pensée de Bachelard*. Paris: Bordas, 1968. (Collection pour connaitre la pensée)

Godeaux. *Les Géométries*. Paris: Armand Colin, [s.d.]. (Collection Armand Colin)

Gonseth, Ferdinand. *Les Fondements des mathématiques de la géométrie d'Euclide à la relativité générale et à l'intuitionisme*. Préface de Jacques Hadamard. Paris: A. Blanchard, 1926; 1974.

———. *Les Mathématiques et la réalité*. Paris: A. Blanchard, [s.d.].

Gurvitch, Georges. *Dialectique et sociologie*. Paris: Flammarion, 1962. (Nouvelle bibliothèque scientifique)

Halmos, Paul Richard. *Introduction à la théorie des ensembles*. Traduction de J. Gardelle. Paris: Gauthier-Villars, 1967. (Mathématiques et sciences de l'homme; 3)

Hempel, Carl Gustav. *Eléments d'épistémologie*. Traduction de Bertrand Saint-Sernin. Paris: Armand Colin, 1972. (Collection U_2; 209)

Le Lionnais, François. *Les Grands courants de la pensée mathématique*. Nouvelle éd. augmentée. Paris: A. Blanchard, 1962. (L'Humanisme scientifique de demain)

Logique et connaissance. Sous la direction de Jean Piaget. Paris: Gallimard, 1967; 1969.

Moy, Paul. *Logique*. Paris: Hachette, 1952.

Piaget, Jean. *Introduction à l'épistémologie génétique*. Paris: Presses universitaires de France, 1973. 2 tomes.

———. *La Psychologie de l'intelligence*. Paris: Armand Colin, 1947. (Collection Armand Colin, section de philosophie; no. 249)

———. *Le Structuralisme*. Paris: Presses universitaires de France, 1968. (Que sais-je?; no. 1311)

Poincaré, Henri. *La Science et l'hypothèse*. Préface de Jules Vuillemin. Paris: Flammarion, 1968. (Science de la nature)

———. *Science et méthode*. Paris: Flammarion, 1908. (Bibliothèque de philosophie scientifique)

——. *La Valeur de la science*. Préface de Jules Vuillemin. Paris: Flammarion, 1970. (Science de la nature)

Riet, Van. *Epistémologie Thomiste 637.*

Sawyer, Walter Warwick. *Introduction aux mathématiques*. Paris: Payot, 1966. (Petite bibliothèque; 81)

Schrödinger, Erwin. *Science et humanisme: La Physique de notre temps*. Bélgique: Desclée de Brower, 1954.

Ullmo, Jean. *La Pensée scientifique moderne*. Préface de Louis Armand. Paris: Flammarion, 1969. (Science de la nature)

Varieux-Reymont, A. *Introduction à l'épistémologie*. Paris: Presses universitaires de France, 1972. (Coll. SUP).

Periodicals

Le Lionnais, François. «La Méthode dans les sciences modernes.» *Revue travail et méthodes:* no. hors séries. éd. Blanchard.

Conferences

XII^e Congrés International d'histoire des sciences. Paris: Librairie scientifique et technique; A. Blanchard, 1970.

الجزء الثاني

المنهاج التجريبي وتطور الفكر العلمي

دراسات ونصوص في الايبستيمولوجيا المعاصرة



تقديـم

يبدأ العلم الحديث روحاً ومنهاجاً وممارسة مع غاليليو.

يمكن أن نتبيّن هذا إذا رجعنا القهقرى بالفكر العلمي انطلاقاً من مرحلته الراهنة. إننا سنضطر في عملية الارتداد هذه إلى اجتياز منعطف شهدته بداية القرن العشرين، لتأخذ طريقنا، بعد ذلك، في الضيق، وآفاقنا في التقلص حتى نصل بداية القرن السابع عشر، حيث يجلس الشاب غاليليو على صخرة تنتهي عندها الطريق المعبدة، لتبدأ شعاب ملتوية، باهتة أحياناً، واضحة أحياناً، تشق التلال والوهاد، بصعوبة واضطراب. وإذا بحثنا في هذه الشعاب عن «شارات» الطريق ومحطات السفر، وجدناها قليلة تمتد عبر مسافات بعيدة، يكاد المرء لا يتبين ما يربط بعضها ببعض. ثم تستمر هذه الشارات والشعاب خافتة مندثرة متباعدة لتغوص في أعماق الزمن مع الحضارات القديمة، حضارات الشرق القديم.

وفي رحلتنا هذه عبر الزمن، في اتجاه الماضي، سنجد أنفسنا، أول الأمر، أمام شارات تنتمي زمنياً إلى عصر غاليليو نفسه، ولكنها لم تكن تتجه بكليتها إلى المستقبل. لقد كانت ذات سهمين، أحدهما يشير إلى الماضي والآخر إلى المستقبل. وكان الأول منها أقوى وأوضح.

هذه شارة يقف بجانبها كبلر Kepler (١٥٧١ ـ ١٦٣٠) يرصد الكواكب ليستخلص منها شكل المدارات التي ترسمها حول الشمس خلال حركتها الأبدية، وليتبين العلاقة الرياضية بين الزمن الذي يقضيه الكوكب في الدوران حول مداره، والمسافة التي تفصله عن الشمس. وفعلاً تمكن كبلر من صياغة قوانين تحمل اسمه، ما زالت تحتفظ بمكانتها في العلم المعاصر. لقد دشنت أعمال كبلر طريقة منهجية ثمينة عبّر عنها أحد الباحثين المعاصرين بقوله: «على أولئك الذين يعتقدون أن قوانين الطبيعة تكتشف بواسطة التعميم، انطلاقاً من ملاحظات كثيرة، أن يعرفوا أن كبلر قد اكتشف قوانينه بواسطة إجراء تحقيقات حول فرضيات كثيرة صاغها لتفسير معطيات الحركة الخاصة بالمريخ وحده». ولكن هذه القاعدة

المنهجية الثمينة التي عمل بها كبلر كانت ملفوفة في تصورات واعتبارات تشدّه إلى الماضي شدّاً. لقد كان يعتقد أن على الكواكب أن تتخذ شكلاً اهليلجياً في حركتها حول الشمس، لأن هذا الشكل هو الأنسب، فهو يحاكي شكل البيضة. وبما أن البيضة هي أصل الحياة، فإنها ـ في نظره ـ هي المؤهلة، ودون غيرها لتمثيل حركة العالم الحقيقية. أما الرياضيات فقد لجأ إلى استعمالها لضبط حركة الكواكب اعتقاداً منه بأنها وحدها الكفيلة بعكس الروح الإلهية التي تتجلى في النظام والقانون... كان كبلر يمارس العلم، ولكنه كان يتنفس، بملء رئتيه، مناخ القرون الوسطى، المناخ الذي كرّسته الكنيسة وفرضته على العلم والعلماء في تلك الحقبة من التاريخ.

هناك «شارات طريق» أخرى تقف زمنياً بجانب غاليليو، ويقف بجانب احداها فرنسيس بيكون يخطط على الورق للمستقبل، مولياً وجهه نحو الماضي، عازفاً عن ممارسة البحث العلمي. ويقف بجانب شارة أخرى الفيلسوف العظيم ديكارت الذي قوّض دعائم الصرح الأرسطي في القرون الوسطى، ليقيم صرحاً جديداً يحل محله، فاستهوته الميتافيزيقا، وشغلته عن العلم بعد أن أسهم فيه إسهاماً كبيراً، وكان يرى أن تجديد العلم لا يتأتى إلاّ بتجديد أساسه الفلسفي. وعلى جانب هذا، وعلى مقربة منه يقف باسكال، ذلك الرجل الذي لم يشغله العلم والتجارب العلمية عن الانصات لقلبه الكبير. لقد أمسك هذا الرجل العصا من الوسط بتوازن عجيب، فكان عالماً بين الرهبان، وراهباً بين العلماء، فيلسوفاً بين الأدباء، وأديباً بين الفلاسفة.

هؤلاء الثلاثة سنقف عندهم وقفة طويلة متكئين على الصخرة الغاليلية. فلنرجع القهقرى، إذن.

لنرجع إلى الماضي مسافة قرن من الزمن، إلى ذلك المنعطف الذي يقف فيه كوبرنيك (١٤٧٣ ـ ١٥٤٣) مشغولاً بنقد النظام الفلكي الذي شيّده بطليموس قبله بأكثر من أربعة عشر قرناً، والذي ظل طوال هذه الفترة الاطار العام الذي تحرّك فيه العلم والفلسفة واللاهوت، إلى أن جاء كوبرنيك بثورته. وأية ثورة أشهر من الثورة الكوبرنيكية!

لم تكن عظمة كوبرنيك راجعة فقط إلى كونه قال بحركة الأرض حول الشمس، بعكس ما كان يعتقد من قبل، فتلك فكرة افترضها فلاسفة قدماء، ولكنها بقيت فكرة يتيمة معزولة. وإنما ترجع عظمة كوبرنيك إلى كونه استطاع أن يشيّد على هذه الفكرة الجديدة ـ القديمة نظاماً كونياً متناسقاً متكاملاً، أضفى على التصور البشري للكون مزيداً من النظام والمعقولية وفتح آفاقاً جديدة أمام البحث العلمي والرؤية الفلسفية. كتب كوبرنيك في مقدمة كتابه **حركات الأجرام السماوية**، فقال: «لقد بذلت جهدي لأقرأ من جديد كتب الفلاسفة التي تمكنت من الحصول عليها حتى أتأكد مما إذا كان أحدهم قال بوجود حركات أخرى للأجرام الرياضية في المدارس. فوجدت أولاً أن شيشرون يذكر بأن هيكتاس من سيراكوس كان يعتقد بأن الأرض تدور، ووجدت ثانياً أن بلوتارخ يشير إلى أن آخرين أخذوا بهذا

الرأي[1]... فانطلقت من هذه الفكرة، وأخذت أتأمل في حركة الأرض... وعلى الرغم من أن هذه الفكرة بدت لي افتراض وجود بعض الدوائر لتفسير حركات النجوم، إلا أنه يحق لي أن أجرب ما إذا كان افتراض حركة ما للأرض سيعطي تفسيراً أفضل لحركة الأفلاك السماوية. وهكذا، بعد أن افترضت وجود حركات نسبتها، في هذا الكتاب، إلى الأرض، وجدت أخيراً، وبعد بحث دقيق، أنه عندما تربط حركات الكواكب الأخرى بدوران الأرض، وعندما تحسب، على هذا الأساس، حركة كل نجم من النجوم، فإن الظواهر الفلكية الأخرى تنتج من ذلك. وأكثر من هذا فنظام النجوم وأحجامها وكراتها والسماء ذاتها، كل ذلك يشكل كلاً مرتبط الأجزاء، بحيث لا يمكن لأي شيء أن يزحزح من مكانه دون حدوث فوضى في الكون بأجمعه».

لقد قلب كوبرنيك نظام الكون كما كان يتصور قديماً، ولكنه احتفظ في ثورته هذه ببعض المسلمات التي شيّد عليها الصرح القديم. لقد بقيت فكرة «الحركة الدائرية المنتظمة» التي قال بها القدماء إحدى الأفكار الأساسية الموجهة له، بل إنه ينتقد القدماء لأنهم لم يحترموا هذه الحركة احتراماً تاماً في تصوراتهم، مع أنها ـ في نظره ـ الحركة الوحيدة التي يمكن أن تفسر تعاقب الحوادث بشكل منتظم، والتي بإمكانها أن تكون لانهائية، وقادرة على أن تعيد الماضي. وأكثر من ذلك وأشدّ غرابة، أنه دافع عن الفكرة التي تجعل الشمس مركزاً للكون بدعوى أنها أجمل الكواكب، وأنها تنير العالم، وأنها لكي تستطيع إنارة العالم لا بد أن تحتل فيه المركز. فرضيات ميتافيزيقية لا ندري هل وجهت البحث العلمي فعلاً، أم أنها جاءت عقبة، لتقدم لنتائجه نوعاً من التبرير حتى يقبلها العصر.

وإلى جانب الشارة البارزة التي يقف بجانبها كوبرنيك، هناك لوحة فنية رائعة يقف ازاءها الرسام الإيطالي العظيم ليوناردو دافينشي (١٤٥٢ ـ ١٥١٩). لقد كان هذا الرسام الخالد يتمتع بموهبة فنية عظيمة دفعته إلى استشفاف الدعامتين الأساسيتين للبحث العلمي الحديث: التجربة والرياضيات. لقد خلّف لنا مذكرات تحسّ عند قراءة بعض شذراتها وكأن غاليليو، أو أحد المحدثين، هو الذي يتكلم. من ذلك قوله: «سأقوم بتجربة قبل أن أتقدم في البحث، لأن غايتي هي أن أقدم الحقائق أولاً، ثم أقيم البرهان ثانياً بواسطة العقل. والتجربة مرغمة على اتباع هذه الطريقة نفسها، الطريقة الصحيحة التي يجب على الباحثين في ظواهر الطبيعة اتباعها. وإذا كانت الطبيعة تبتدىء من الأسباب وتنتهي في التجريب علينا، فمن الواجب أن نسلك طريقاً معاكساً فنبتدىء من التجربة لننتهي بواسطتها إلى الأسباب». إن هدف البحث العلمي «ليس الكشف عن الجواهر الحقيقية وماهيتها الصحيحة، بل إن هدفه منحصر في معرفة بعض صفات هذه الجواهر، ووسيلته في ذلك، الرياضيات وإذ لا يمكن أن نسمي أي بحث علماً صحيحاً ما لم يكن يتبع طرق

---

(١) كان أرسطارخوس Aristarchus الساموسي، في القرن الثالث قبل الميلاد، أول من قال بفكرة دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس. وقد اتهمه معاصروه بكونه يزعج بفكرته هذه، راحة الآلهة. ولذلك حاربوه.

البراهين الرياضية». إن الرياضيات هي وحدها التي تفصل بين الآراء المتعارضة، «ومن يحتقر الرياضيات لن يستطيع إفحام خصومه، وإسكات الآراء التي تجر إلى حرب كلامية».

على أن هذه الروح العلمية التي أنطقت ليوناردو دافينشي، لم تكن نتيجة موهبته الفنية بقدر ما كانت من إيحاء نسيم العلم العربي الذي كان يهب عليه من خلال الكتب التي كان يقرؤها، كتب أساتذة جامعة باريز، ومدارس ايطاليا. هنا، في هذه الكتب والمدارس نسمع اسم ابن رشد يتردد بكثرة كطبيب وعالم وفيلسوف يقدم لعلماء القرون الوسطى العلم العربي والفلسفة الأرسطية مطهّرة ـ إلى حد كبير ـ من الشوائب والتحريفات.

ومع رجوعنا القهقرى قليلاً نجد طابع العلم العربي في جميع الشارات واللافتات. فهذا روجر بيكون (١٢١٤ ـ ١٢٩٢) ينقل منهجية العلم العربي، فيشيد بالتجربة وينصح معاصريه بقراءة كتب الفارابي الذي كان يضعه إلى جانب بطليموس وأوقليدس، في صف واحد. وهذا ويتلو Witelo يصنّف كتاباً في البصريات عام ١٢٧٠ يعتمد فيه اعتماداً كلياً على ابن الهيثم. وهذا جيرار دي كريمونا (١١١٤ ـ ١١٨٧) يقضي سنيناً عديدة في طليطلة يترجم عن العربية اثنين وتسعين كتاباً في الفلك والطب والطبيعيات. وهذا ليونار المعروف بفيبوناكشي (القرن الثالث عشر) ينقل الجبر العربي، ويؤلّف كتاباً ظل المرجع الأساسي في الرياضيات إلى القرن السادس عشر. إلى غير هؤلاء من التراجمة والمؤلفين الذين نقلوا العلم العربي ـ والعلم اليوناني من اللغة العربية ـ ابتداء من القرن العاشر.

هنا مع النهضة الأوروبية الأولى، نهضة القرنين الثاني عشر والثالث عشر، نلتقي مع العلوم العربية مترجمة إلى اللاتينية، ونشهد «عملية التمثل الكبرى لهذه العلوم» في مركزين رئيسيين: صقلية والأندلس. ومنها انتشر العلم العربي في باقي الأقطار الأوروبية وخاصة في ايطاليا وفرنسا وانكلترا.

في هذه المرحلة من رحلتنا نجد أنفسنا مضطرين إلى التوجه غرباً إلى الأندلس وشرقاً إلى بغداد. أما باقي الجهات فظلام دامس، «لقد كان العرب يمثلون في القرون الوسطى التفكير العلمي والحياة الصناعية العلمية اللذين تمثلها في أذهاننا اليوم المانيا الحديثة. وخلافاً للإغريق، لم يحتقر العرب المختبرات العلمية والتجارب الصورة. أما في الطب وعلم الآليات بل في جميع العلوم، فقد استخدموا العلم في خدمة الحياة الانسانية مباشرة، ولم يحتفظوا به كغاية في حد ذاته. وقد ورثت أوروبا عنهم بسهولة ما ترغب أن تسميه بـ «روح بيكون» التي تطمح إلى «توسيع حكم الانسان» على الطبيعة. . »(٢). ويقول باحث آخر: «إن ما ندعوه بالعلم ظهر في أوروبا كنتيجة لروح جديدة في البحث وطرق جديدة في الاستقصاء. . طريقة التجربة والملاحظة والقياس، ولتطور الرياضيات في صورة لم يعرفها اليونان، هذه الروح

---

(٢) جون هرمان راندل، تكوين العقل الحديث، ترجمة جورج طعمة، ٢ ج (بيروت: دار الثقافة، ١٩٥٥)، ج ١، ص ٣١٤.

وتلك المناهج أدخلها العرب إلى العالم الأوروبي»[٣].

تستطيع أن نسترسل في الإتيان بمثل هذه الشهادات التي تنوه بدور العلم العربي في النهضة العلمية الحديثة التي دشنها غاليليو في أوروبا.. ولكن ما قيمة هذه الشهادات إذا كانت تشكل المصدر الوحيد لمعرفتنا بتراثنا العلمي. إنها تبعث فينا الاعتزاز ولا شك... ولكنه اعتزاز من يجهل نفسه!

من الأندلس إلى بغداد، ومن بغداد إلى الاسكندرية حيث بطليموس وأرخميدس وأوقليدس، ومنها إلى اثينا.. ثم إلى بابل ومصر.. تلك هي المحطات الرئيسية التي على الباحث المؤرخ أن يقف عندها طويلاً في رحلته إلى الماضي، انطلاقاً من الحاضر.

والدرس الأساسي الذي تستخلصه من هذه الرحلة هو أن العلم لا وطن له. إنه ينتقل بين الأوطان ويعم سائر البلدان التي تكون مستعدة لاستقباله، لفهمه واغنائه. استوطن العلم القديم مصر وبابل واثينا والاسكندرية، واستوطن العلم الحديث البلدان الأوروبية الغربية. وبين العلم القديم والعلم الحديث كان العلم العربي. لقد جمع العلم العربي العلم القديم فحافظ عليه وهضمه وأغناه وقدمه لأوروبا لتقوم هي بعملية التجديد بعد أن مهّد العرب الطريق ورسموا معالم الأفق. لقد ظلت العلوم العربية سائدة في أوروبا، تشكل أرقى ما وصلت إليه المعرفة البشرية، لمدة ستة قرون، من القرن العاشر إلى القرن السابع عشر وأجزاء القرن الثامن عشر.

هذا ما يحدثنا به الغربيون.

* * *

لماذا، إذن، بداية العلم الحديث مع غاليليو وبداية القرن السابع عشر؟ هناك أكثر من سبب:

١ - إذا رجعنا القهقرى، كما فعلنا، من العصر الحاضر، نجد خيط التطور مستمراً متواصلاً - على الرغم من منعطف القرن العشرين - إلى غاليليو. أما قبل هذا الأخير، فشعاب الطريق متقطعة، «وسهام التوجيه» تتجه إلى الماضي لا إلى المستقبل.

٢ - إن الفكر العلمي في القرون الوسطى الأوروبية كان يخضع للمفاهيم الأرسطية والتصورات اللاهوتية المسيحية. فكان قديماً في روحه، قديماً في إطاره ومناخه، قديماً في مناهجه وأدواته.

٣ - إن العلم الحديث وليد الحضارة الحديثة وعنصر فاعل فيها. والحضارة الأوروبية الحديثة لم تستكمل مقومات انطلاقتها إلاّ في القرن السابع عشر. (أما نوع هذه المقومات الاقتصادية الاجتماعية الثقافية فلا تدخل في نطاق هذا الكتاب).

---

(٣) بريفو Briffault. ذكره: علي سامي النشار، مناهج البحث عند مفكري الاسلام ونقد المسلمين للمنطق الأرسطاطاليسي، ط ٢ (القاهرة: دار المعارف، ١٩٦٧)، ص ٣٨٤.

٤ ـ إن تاريخ العلوم السائد الآن تاريخ أوروبي النزعة تتجه أنظاره من اينشتين وماكس بلانك، إلى نيوتن وغاليليو، ومنهما إلى أوقليدس وأرسطو. أما العلم العربي، فهو لا يحظى في أحسن الأحوال إلاّ بإشارات عامة عابرة. أما المسار العام فلا يتخذ منه سوى قنطرة مرّ عليها التراث الاغريقي إلى العالم الغربي. ومن هنا كان القديم ـ في هذا المنظور التاريخي الأوروبي ـ يعني العلم الأرسطي، وكان الحديث يعني العلم الغاليلي.

وإذا تحدث الباحثون اليوم عن «القطيعة الابيستيمولوجية» التي أحدثها اينشتين وماكس بلانك، فهي قطيعة بالنسبة إلى علم نيوتن وغاليليو. وإذا أشادوا بـ «القطيعة الابيستيمولوجية» التي أحدثها غاليليو فهي قطيعة بالنسبة إلى علم أرسطو. أما العلم العربي فلم يدخل بعد في الحساب، بكيفية جدية. من هنا يبدو أن القطيعة الغاليلية ربما ليست في حقيقتها قطيعة ابيستيمولوجية، بل «قطيعة» تاريخية تلغي استمرارية التاريخ وتطوره، وتقفز مباشرة من غاليليو إلى أرسطو.

لقد قطع غاليليو فعلاً مع أرسطو، ولكن هل «قطع» مع ابن الهيثم أو الرازي مثلاً؟

إنه سؤال قد لا يجيب عنه إلاّ الباحثون العرب. ولكننا ـ نحن العرب في العصر الحاضر ـ سجناء رؤيتين: الرؤية الأوروبية التي فتحنا عليها أعيننا منذ بدء يقظتنا الحديثة، وهي تكيف ـ بل تهيمن على ـ جانب المعاصرة في شخصيتنا العلمية والحضارية. والرؤية الغزالية ـ الشهرزورية ـ العثمانية[٤] التي تشوش جانب الأصالة في تفكيرنا، وتقف حاجزاً بيننا وبين ربط ماضينا بحاضرنا في اتجاه المستقبل المنشود. فما العمل لجعل الصراع الذي يحتدم في شخصيتنا الراهنة ينتهي لصالح الفارابي وابن سينا والرازي وابن الهيثم والخوارزمي وابن رشد؟

إننا نعتقد أن الانكباب على دراسة غاليليو وديكارت وهويغنز ونيوتن واينشتين وأمثالهم دراسة تاريخية واعية متسلحين بالأدوات الفكرية التي تمكننا من اكتشاف علمي، لا خطابي، موضوعي، لا ذاتي، لمختلف الوجوه المشرقة في تراثنا، وما أكثرها؟ هناك طريق واحد يقودنا نحو «العلم العربي»، العلم العربي في الماضي، والعلم العربي في المستقبل. إنه الانكباب على دراسة الفكر العلمي الحديث وتطوره، والاجتهاد في هضمه وتمثله.

إن الماضي كالمستقبل لا يكتشف ولا يبنى، أو يعاد بناؤه، إلا على أساس الحاضر وانطلاقاً منه. وحاضرنا العلمي هو العلم الحديث. فلنجعل من دراسة هذا العلم، موضوعاً ومنهاجاً، روحاً ومناخاً، وسيلة لبناء حاضرنا وبعث ماضينا والانطلاق نحو مستقبلنا... لنتسلح، إذن، بهذه الرؤية الجدلية التي تجعل الحاضر منطلقاً لبعث الماضي وبناء المستقبل. إننا إن فعلنا ذلك تجنبنا في آن واحد مخاطر «الاغتراب» وأغلال «الاغتراب».

في هذا الأفق، ومن أجل الهدف ألّفنا هذا الكتاب.

---

(٤) نسبة إلى أبي حامد الغزالي، وابن الصلاح الشهرزوري، والدولة العثمانية.

القسم الأول

المنهاج التجريبي : الفرضية والنظرية



الفصل الأول

المنهاج التجريبي: نشأته وخصائصه

(بيكون، غاليليو، باسكال)

أولاً: بيكون «والأرغانون الجديد»

عاش فرانسيس بيكون Francis Bacon (١٥٦١ ـ ١٦٢٦) في بداية فترة التحوّل التي أشرنا إليها قبل، في عصر لم يتم فيه الانتقال بعد من القديم إلى الجديد. فكان طبيعياً أن يحمل تفكيره بعض معطيات القديم إلى جانب الجديد الذي جند نفسه للدعاية له والتبشير به: لقد هاجم طرق التفكير القديمة ولكنه لم يتحرّر من إرث القرون الوسطى بكامله مما جعله يحمل بين طيات تفكيره وجهين متناقضين: وجه الداعية لمنهج جديد والمخطط له، ووجه المفكر الذي بقي يتحرك في إطار الآراء والمعلومات القديمة. ويهمنا هنا أن نلقي نظرة سريعة على الوجهين معاً، علّنا نتمكن من تقديم صورة نموذجية عن ذلك المنعطف الكبير الذي شهده الفكر الغربي في بداية النهضة العلمية الحديثة.

١ ـ الهدف: السيطرة على الطبيعة

لم يكن بيكون يرمي إلى إنشاء فلسفة جديدة أو تركيب نظام فلسفي معين، وإنما كان هدفه الأساسي **«إصلاح أساليب التفكير وطرق البحث»**، لقد انتقد الفلاسفة السابقين من عقلانيين وتجريبيين: فالأولون كانوا كالعنكبوت الذي يبني منزله من داخله، والآخرون كانوا كالنمل الذي يجمع من الخارج زاده، في حين أن الفيلسوف الحق (والفيلسوف في هذا العصر يعني العالم أيضاً) هو الذي يعمل كالنحلة التي تجمع الرحيق من الأزهار لتصنع منه عسلاً مصفّى[1]. إن على الفيلسوف أن يأخذ من الظواهر والحوادث، وبواسطة التجربة، ما يبني به

---

(١) ليس هذا التشبيه من ابتكار بيكون. فلقد قال به الفيلسوف اليوناني بلوطرخس Plutarque في القرن الأول للميلاد، وقام مونتاني بترويجه في القرن السادس عشر. هذا وقد اعتمدنا في عرض آراء فرانسيس بيكون على جملة مراجع: كتب تاريخ الفلسفة بالعربية والفرنسية، ثم الدراسات التي كتبت حول بيكون =

العلم والفلسفة، وبالدرجة الأولى العلم النافع، فالفلسفة القديمة إنما فشلت ـ في رأي بيكون ـ لكونها كانت تهتم بالمعرفة لذاتها، ولأن الشغل الشاغل للفلاسفة كان إفحام خصومهم والعمل على التفوق عليهم في المناظرة والجدل، الشيء الذي جعل الفلسفة القديمة تبقى مجرد جدال عقيم، بألفاظ فارغة، في موضوعات شائكة لا حل لها. هذا في حين أن المهم هو أن «نعيش عيشة أحسن: ونربي أولادنا تربية أفضل، ونعمل على ضمان مصير بلادنا وسيادة الانسانية. . . » وهذا كله لا يتأتى إلا بـ السيطرة على الطبيعة.

الهدف من المعرفة، إذن، هدف نفعي. إنه السيطرة على الطبيعة وإخضاعها لأغراضنا العملية. ذلك هو الدرب الجديد الذي يجب أن تسير فيه الفلسفة والعلم. وهو درب يختلف كلية عن الدرب الذي وضع فيه فلاسفة اليونان وسار فيه «علماء» القرون الوسطى. لم تعد الفلسفة «محبة الحكمة»، إن مهمتها الآن السيطرة على الطبيعة لفائدة الانسان. . . ولكن كيف السبيل إلى ذلك؟ إن تغيير الهدف يستلزم تغييراً في الوسيلة، ومن هنا نقطة البدء. يقول بيكون: «لا يمكن السيطرة على الطبيعة إلا بالخضوع لها، لا بالثورة ضدها. يجب أن نتعلم كيف نفهم الطبيعة، كيف نبحث عن نماذج الأشياء وصورها التي توجد فيها، عن خصائص هذه الأشياء، والميادين التي يجب أن نستعمل فيها. إن ذلك هو ما سيمكننا من توقع نتائج أعمالنا، وبالتالي التحكم في الضرورة التي تريد الطبيعة فرضها علينا. . . والقدرة التي تمكننا من ذلك تنبع من العلم والمعرفة. . . إن ما يبدو سبباً على صعيد التأمل النظري يصبح قاعدة في الميدان العملي».

وإذا اتضح الهدف وتقررت الوسيلة، فإن الخطوة العملية الأولى التي يجب البدء بها هي القيام بكشف عام وإحصاء واسع لصنوف المعرفة البشرية قصد التعرّف على ما تمّ انجازه حتى لا نضيع الوقت والمجهود في البحث عنه من جديد، وعلى ما لم يتم اكتشافه بعد، حتى نجدّ في البحث والتنقيب قصد جلائه واقراره. . . علينا إذن، أن نبدأ بتنظيم المعرفة البشرية وتصنيف أنواعها، إن ذلك سيساعدنا على فرض النظام في الفكر وأساليب البحث.

٢ ـ تصنيف العلوم

كيف يمكن تصنيف العلوم والمعارف التي يتوفر عليها الانسان، وهي كثيرة متراكمة متداخلة؟ ليس في الأمر كبير صعوبة بالنسبة إلى بيكون: فالعلوم من انتاج الفكر. والفكر البشري يتألف من ثلاث ملكات أو قدرات: الذاكرة والمخيلة والعقل.

الذاكرة تحفظ ما ألفناه وعرفناه. والمخيلة تنسج بواسطة ما تحفظه الذاكرة أفكاراً

= باللغتين العربية والفرنسية، ونشير بكيفية خاصة إلى كتاب اندريه كريسون الذي يشتمل على نصوص مختارة لبيكون. انظر: André Cresson, *Francis Bacon: Sa vie, son œuvre;* avec un exposé de sa philosophie, philosophes, 2ème éd. (Paris: Presses universitaires de France, 1956).

جديدة، والعقل يتفحّص هذه الأفكار وينقدها. ومن هنا فالعلوم ثلاثة أنواع: التاريخ وملكته الذاكرة، والآداب (الشعر) وملكتها المخيلة، والفلسفة وملكتها العقل. وكل نوع من هذه الأنواع الثلاثة ينقسم إلى أقسام تختلف باختلاف الموضوعات:

- فالتاريخ قسمان: مدني خاص بالانسان، وطبيعي خاص بالطبيعة، والمدني نوعان: تاريخ كنسي، وتاريخ مدني بمعنى الكلمة. أما الطبيعي فثلاثة أنواع: نوع يهتم بوصف الظواهر السماوية والأرضية، ونوع يهتم بالمسوخ، وهي تكشف عن القوى الخفية، ونوع ثالث يهتم بالفنون التي هي وسائل الانسان لتغيير الطبيعة. وإذا نحن تصفحنا أنواع التاريخ الموجودة - يقول بيكون - تبين لنا أن الصنف الأول هو وحده القائم الآن، أما الصنفان الآخران، الثاني والثالث، فلم يوجدا بعد.

- أما الآداب فهي أربعة أنواع، قصصية، ووصفية، وتمثيلية، ورمزية. (والمقصود بهذه الأخيرة تأويل القصص والأساطير لاستخلاص ما تنطوي عليه رموزها ومشاهدها من معانٍ ومغازٍ، وهذا شيء كان شائعاً في عصر النهضة).

- وأما الفلسفة وموضوعاتها: الطبيعة والانسان والله، فهي ثلاثة أصناف: فلسفة الطبيعة، وهي قسمان: ما بعد الطبيعة من جهة، والطبيعة من جهة أخرى، وهذه تشتمل على الميكانيكا والسحر. أما الصنف الثاني من أصناف الفلسفة والذي موضوعه الانسان فهو أقسام: ما يخص الجسم، وما يخص النفس، وما يتعلق بالعقل والمنطق، وما موضوعه الإرادة والأخلاق. يبقى بعد ذلك الصنف الثالث وهو الفلسفة الإلهية وهي معروفة.

هذا التصنيف للعلوم والمعارف معقول جداً، في نظر بيكون، فعلاوة على أنه مبني على الملكات الثلاث التي يتألف منها الفكر البشري، كما أوضحنا ذلك قبل، فهو يعبر أيضاً عن مراحل في العمل العقلي، طبيعية تماماً، فالتاريخ تجميع للمواد، والشعر تنظيم لها، والفلسفة تقوم بتركيبها تركيباً عقلياً.

لقد أطنب بيكون في تفصيل هذا التصنيف، مدلياً بكثير من المعلومات (القديمة) والافتراضات والموضوعات حول هذه العلوم، لينتهي إلى القول أخيراً بأن تمحيص هذه العلوم والمعارف التمحيص المطلوب مهمة شاقة. فالمشروع ضخم، ولا بد من تضافر الجهود لإنجازه.

٣ - العوائق والأوهام

ومع ذلك، هناك مهمة مستعجلة لا بد من تدشين العمل فيها، وهي القضاء على الموانع والعوائق التي حالت دون قيام العلوم من قبل، منظمة مصنفة على هذا الشكل، والسبيل إلى ذلك - فيما يرى بيكون - هي البدء بتطهير العقل من الأوهام. فالعقل مرآة، والمرآة لا تقوم بوظيفتها كاملة إلا إذا توافرت ثلاثة شروط، أولها: صقلها صقلاً تاماً حتى

تزول منها جميع اللطخات والأوساخ، وثانيها: توجيهها توجيهاً مناسباً نحو النور، وثالثها وضع الشيء الذي نريد رؤيته فيها، في المكان الملائم الذي يسمح بظهوره كاملاً فيها.

هذه الشروط نفسها تنطبق على العقل. وإذن فالشرط الأول يعني تطهير العقل من الأوهام. والأوهام السائدة أربعة أصناف: **«أوهام القبيلة»**، وهي مشتركة بين الناس، والمقصود بها هو ميلهم جميعاً إلى التعميم وفرض النظام والاضطراد في الطبيعة. و **«أوهام الكهف»** وهي خاصة بالإنسان الفرد، وتتمثل في ميل الأفراد إلى النظر إلى الطبيعة كل من وجهة نظره الخاصة، ومن كهفه الخاص. و **«أوهام السوق»** وتتمثل في طغيان الألفاظ والمناقشات اللفظية كما يحدث في السوق حيث يكثر اللغط والكلام الفارغ المشوش. وأخيراً **«أوهام المسرح»** والمقصود بها سيطرة القدماء ونفوذهم، مثلما تسيطر شخصيات الممثلين في المسرح على المتفرجين.

هذا الشرط وحده لا يكفي. لا بد، بعد تطهير العقل، من تحديد الهدف الذي يجب أن يسعى إليه، أي لا بد من توجيه مرآة العقل المصقولة توجيهاً ملائماً، وهو توجيه يجب أن يتم على ثلاث مراحل أو لحظات: (١) **تحديد الصور الحقيقية للطبيعة** (أي الكيفيات التي تتجلى فيها). فبالنسبة إلى الحرارة مثلاً، يجب البحث في آثارها وقوانينها، لا في جوهرها، كما كان يفعل القدماء من قبل، لأن الحرارة لا جوهر لها. (٢) **البحث في ما يحدث للجسم عندما يتحرك أو يتحول**، أي في مختلف التغيرات التي تلحقه، كالبحث في تحول الماء إلى بخار بواسطة الحرارة. (٣) **البحث في تركيب الجسم الساكن لمعرفة ما يقبل من الصور والكيفيات**، فالماء مثلاً لا يقبل صورة التمثال، وإنما يقبلها الرخام.

وإذا فعلنا هذا وذاك، صار في امكاننا الحصول على رؤية واضحة للمسائل التي نريد دراستها، ولكن شريطة وضع الشيء في مكانه حتى يبدو في المرآة بتمامه. وذلك هو الشرط الثالث، وهو يتعلق بسلسلة الاحتياطات والخطوات التي لا بد من التقيد بها عند البحث والدراسة. ومن هنا جداول بيكون المعروفة، وهي ثلاثة: **جدول الحضور** وتسجل فيه التجارب التي تظهر فيها الكيفية المطلوبة (أي الظاهرة أو القانون موضوع البحث). **وجدول الغياب**، وتسجل فيه التجارب التي لا تبدو فيها الكيفية المطلوبة، وأخيراً **جدول المقارنة** (أو جدول الدرجات) وتسجل فيه التجارب التي تتغير فيها الكيفية المدروسة.

٤ ـ الاستقراء والتجربة الحاسمة

وعندما نحصل على هذه الجداول الثلاثة يصبح في امكاننا القيام بـ «استقراء مشروع»، وهو عملية تتم من خلال لحظتين: **لحظة العزل أو الاستبعاد**، وهي مرحلة سلبية يجب أن تراعى فيها القواعد الثلاث التالية التي تؤسس الجداول المذكورة: (أ) عندما يحضر السبب تحضر النتيجة. (ب) عندما يغيب السبب تغيب النتيجة. (ج) عندما يتغير السبب تتغير النتيجة. أما اللحظة الثانية، فهي **التأكيد الايجابي** للصورة، وهنا لا بد من سلسلة من الاحتياطات تتمثل في الخطوات التسع التالية: (١) تنويع التجربة بتغيير المواد وكمياتها

وخصائصها. (٢) تكرار التجربة بإجراء تجارب جديدة على نتائج التجارب السابقة. (٣) مد التجربة، أي اجراء تجارب جديدة على مثال التجارب السابقة مع تعديل المواد. (٤) نقل التجربة من الطبيعة إلى الصناعة والفن. (٥) قلب التجربة كأن نعمل مثلاً على التأكد ما إذا كانت البرودة تنتشر من أعلى إلى أسفل بعد أن عرفنا أن الحرارة تتجه من أسفل إلى أعلى. (٦) إلغاء التجربة، أي إبعاد الكيفية التي يراد دراستها، من ذلك أننا إذا كنا ندرس المغناطيس مثلاً فيجب أن نبحث عن وسط لا يجذب فيه المغناطيس. (٧) تطبيق التجربة، كتعيين مدى نفاذ الهواء، مثلاً، في أماكن مختلفة. (٨) جمع التجارب، وذلك بالزيادة في فاعلية مادة ما بالجمع بينها وبين مادة أخرى. (٩) اعتبار الصدفة في التجربة، بمعنى أن التجربة يجب أن تجرى، لا لتحقيق فكرة مسبقة، بل يجب أن نترك الصدفة تكشف لنا عن معطيات جديدة.

ذلك هو «الاستقراء المشروع» في نظر بيكون، وتلك هي شروطه وعناصره. ويلح بيكون على ضرورة الاهتمام خلال مراحل الاستقراء، بالحوادث الأساسية للوقوف، بكيفية خاصة، على التجربة الحاسمة Expérience cruciale ذلك لأن التجربة الحاسمة، أو الفاصلة، هي بمثابة العلامة التي توضع على مفترق الطرق لتوجيه المسافر إلى الجهة التي تؤدي به إلى مقصوده. فعندما يكون الباحث المجرّب أمام حلول محتملة لمسألة ما، فإن التجربة الحاسمة هي تلك التي تفصل في الأمر، وتدل على الحلّ المطلوب. ويمثل بيكون لذلك بظاهرة سقوط الأجسام، التي يمكن أن تكون خاصية ذاتية (داخلية) للأجسام، كما يمكن أن تكون راجعة إلى كون الأرض هي التي تجذبها. فإذا قلنا بالاحتمال الثاني نتج من ذلك أن الأجسام سيضعف انجذابها إلى سطح الأرض بابتعادها عنه. وهكذا فإذا استطعنا أن نثبت هذا بالتجربة حسمنا في الأمر. ويمكن القيام بهذه التجربة الحاسمة - كما يقول بيكون - بوضع ساعة تعمل بالثقل في أعلى الصومعة مرة وفي أسفلها مرة أخرى. فإذا لاحظنا أنها تتحرك ببطء في أعلى الصومعة منها في أسفلها كان ذلك دليلاً على أن سقوط الأجسام راجع إلى جاذبية الأرض، لا إلى خاصية ذاتية في الأجسام نفسها.

وبالجملة فإن المقصود بالاستقراء وإجراء التجارب هو الحصول على التجربة الحاسمة، فهي وحدها التي تفصل في الأمر، وتفرض نوع الحل الذي يجب الأخذ به.

* * *

تلك كانت بالإجمال الخطوط الرئيسية للمنهج الجديد الذي دعا إليه فرانسيس بيكون وبشّر به. فما هو الجديد فعلاً في هذه الآراء والأفكار التي نادى بها هذا المفكر الانكليزي الذي يعتبر من الرواد الأوائل للتجريبية الانكليزية؟

بوسعنا أن نسجل في هذا الصدد، عدة ملاحظات:

١ - إن ابراز أهمية التجربة والدعوة إلى اصطناعها في البحث في ظواهر الطبيعة وانتقاد طرق القدماء وفلسفاتهم... كل ذلك كان سائداً في عصر بيكون وقبله، بل يمكن تتبع ذلك

بالرجوع القهقرى إلى حركة النهضة التي عرفتها أوروبا في القرنين الثاني عشر والثالث عشر بتأثير الاحتكاك مع العرب والاقتباس من الحضارة العربية.

وقد تكفي هنا الاشارة إلى مفكر وفنان ايطالي عاش قبل بيكون بما يزيد على قرن من الزمن هو ليوناردو دافينشي (١٤٥٢ ـ ١٥١٩) الذي أشاد بالتجربة وأهميتها في اكتساب المعرفة. قال: «إن من يعتمد على سلطة الأخرين يجهد، لا فكره، وإنما ذاكرته»، وقوله هذا يذكرنا بما دعاه بيكون بـ «أوهام المسرح». ثم يناقش الفلاسفة الذين يعلون من شأن العقل ويحطون من شأن التجربة: «يقولون إن تلك المعرفة التي تنبثق من الاختبار هي معرفة آلية، وإن المعرفة التي تولد في العقل وتنتهي إليه هي معرفة علمية. على أنه يبدو لي أن تلك العلوم التي لا تتولد من التجربة ـ وهي أم اليقين ـ والتي لا تنتهي في الملاحظة، أي تلك العلوم التي لا تمر في منبعها أو سياقها المتوسط أو في نهايتها بإحدى الحواس الخمس هي علوم باطلة وطافحة بالأخطاء»، «وإن علي أن أقوم بالتجربة قبل أن أتقدم في البحث، لأن غايتي هي أن أقدم الحقائق أولاً، ثم أقيم البرهان بواسطة العقل على أن التجريب مرغم على أن يتبع هذه الطريقة المعينة. وهذه هي القاعدة الصحيحة التي يجب على الباحثين في ظواهر الطبيعة اتباعها. وبينما نرى أن الطبيعة تبتدىء من العلل وتنتهي في التجريب علينا أن نتبع طريقاً معاكسة فنبتدىء من التجريب، ثم نكتشف بواسطته العلل». وأكثر من ذلك أدرك ليوناردو دافينشي أهمية استعمال الرياضيات في البحث في الطبيعة، الشيء الذي أغفله بيكون، فهو يرى أن طريق المعرفة الصحيحة يجب أن يكون طريقاً رياضية «إذ لا يمكن أن تسمي أي بحث بالعلم الصحيح إلا إذا اتبع طرق البراهين الرياضية».

٢ ـ لقد بنى بيكون منهجه «التجريبي» على مجرد التأمل والتفكير، لا على الممارسة العملية للبحث العلمي. إن بيكون لم يكن مجرِّباً، ولا باحثاً مكتشفاً، بل ربما كان متأخراً عن علوم عصره، جاهلاً بالاكتشافات العلمية الرائدة. وهذا نقص كبير، ما في ذلك شك. ولكن العيب الكبير في تفكير بيكون هو أنه تصور منهجه كآلة، أو «أرغانون جديد» Novun Organun يعلو على العقل ويفرض نفسه عليه من الخارج. يقول في هذا الصدد: فكما أن البيكار يرسم الدائرة دونما حاجة إلى يد ماهرة، فكذلك منهجي. إنه يجعل العقول متساوية في الكشف عن الحقيقة، ويقلل من شأن الفروق الفردية الراجعة إلى العبقرية. هذا بالإضافة إلى أنه فهم التجربة بالمعنى القديم، أي على أنها التجربة الحسية، وهي غير التجربة العلمية ـ كما سنرى بعد ـ ولذلك بقي استقراؤه استقراء أرسطياً لا يرقى إلى مستوى التحليل.

٣ ـ أما تصنيفه للعلوم على أساس الملكات الثلاث فتصنيف واهٍ لا يصمد لأقل نقد. فليس صحيحاً، مثلاً، أن التاريخ من عمل الذاكرة وحدها، بل لا بد فيه من العقل والمخيلة. وكذلك الشأن بالنسبة إلى البحث في الطبيعة، فهو لا يعتمد العقل وحده، فللمخيلة دور عظيم في الكشف العلمي. أضف إلى ذلك تقليله من شأن الرياضيات التي جعلها فرعاً لعلم الطبيعة، وإدراجه السحر والمسوخ والميتافيزيقا في لائحة العلوم.

كـل ذلك يـبرز ما سبق أن قلنـاه من أن بيكون لم يـطبق منهجه ولم يتحـرر من القديم جملة، بل بقيت صلته به قوية متينة. إنه على الـرغم من انتقاده للفلاسفة القـدماء ـ أرسطو وعلماء القرون الوسطى ـ فلقد بقي عقله أرسطوطاليـاً بعيداً جـداً عن عقل غـاليليو وعقـل ديكـارت. وتلك ملاحظة تصدق عـلى جميع أولئـك الـذين حملوا عـلى العلم الأرسطي من مفكري القرون الوسطى وأوائل عصر النهضة بمن فيهم ليوناردو دافنشي وبيكون وغيرهما من معاصريهما ومن سبقوهما. يقول جون هـارمان رانـدل: «والحقيقة أنـه كلما توسعت دراسات تاريخ الفكر في أواخر القرون الوسطى وعصر النهضة كلما اتضح أن أكثر الابتعادات الجريئة عن العلم الأرسطي إنما تمت داخـل الإطار الأرسـطي ذاته، بـالاعتماد عـلى تفكير نقـدي في المذاهب الأرسطية، مهما تنوّعت مصادر الأفكار التي غذت ذلك النقد»[2].

ولكن، مع ذلك، هناك ثلاثة عناصر مهمة، ربما تميّزه عن سابقيه وتربطه بلاحقيه، أبرزها في مؤلفاته وألحّ عليها إلحاحاً كبيراً. وهذه العناصر الايجابية في تفكيره، هي:

١ ـ إلحاحه على عدم التسرع في استخلاص النتائج من الملاحظة والتجربة. فعلاوة عـلى سلسلة الاحتياطات والخطوات التي يرى أن لا بـد منها في عمليـة الاستقراء، سـواء في لحظة العزل أو في لحظة الإثبات للكيفية المدروسة، فلقد كان واعياً كل الوعي أهمية السـير تدريجيـاً وبخطى ثابتة متثاقلة في البحث العلمي. يقول: هناك طريقان للكشف عن الحقيقـة: طريق يقفز بصاحبه من الحوادث الجزئية إلى المبادىء العامة، من الظواهر إلى الأسباب التي يستنتج منها «القوانين الوسطى»، والأسباب الطبيعية (وتلك هي طريقة القياس الأرسطي). وطريق آخر يسير فيه صاحبه ببطء واحتياط من الاحساسات والظواهر، ولا يصل إلى القوانين العامة إلاّ بعد تدرج وطول نفس. الطريق الأول لا يقف عند التجربة، بـل يمر عليهـا مرّ الكرام، أما الثاني فيقف عندها طويلاً (كما بيّنا قبل في الخطوات السبع)، وهذا هو الطريق المطلوب، الطريق الذي يكبح جماح العقـل المتسرع حتى يسير بـأناة وصـبر من القوانـين الابتدائيـة التي تفسّر جملة من الظواهر إلى القوانين الوسطى التي تتناول عدداً أكبر من الظواهـر والحوادث، وأخيراً إلى القوانين العامة المجردة التي تعبر عن المبادىء والأسباب القصوى. ومن الضروري تعويد العقل على هذا السـير التدريجي الرصين، «فالعقل لا يحتاج إلى أجنحة، بل إلى اثقـاله بالرصاص».

٢ ـ إلحاحه على أهمية لحظة العزل وتنويع التجربة. فالاستقراء الحقيقي ليس مجرد تعداد الظواهر، مهما كثرت، وهـو لا يفيد إذا كـان كذلـك. إن الاستقراء القـائم على مجـرد العد، استقراء صبياني كما يقول بيكـون. فلا بـد من لحظتي العـزل والإثبات، مـع اعطاء الأهميـة القصوى للحظة الأولى.

٣ ـ إشادته بما أسماه «التجـربة الحـاسمة»، وهي التجربة التي تمكّن البـاحث من ترجيح

---

(٢) جون هرمـان راندل، تكـوين العقل الحـديث، ترجمة جورج طعمـة، ٢ ج (بيروت: دار الثقـافة، ١٩٥٥)، ص ٣٢٥.

فرض على آخر، والتي سيكون لها شأن كبير في التفكير العلمي، كما سنرى بعد.

تلك هي العناصر الايجابية في تفكير فرانسيس بيكون بالمقارنة مع المنهاج التجريبي كما سيطبق بعده، وهي عناصر بالغة الأهمية إذا عزلناها عن باقي العناصر الأخرى التي يزخر بها تفكيره والتي تشدّه إلى القديم شدّاً. ولكنها تظل ضعيفة مغمورة إذا ما نظرنا إليها من خلال مجمل تفكيره، الشيء الذي يؤكد ما قلناه من قبل، من أن بيكون لم يقطع مع القديم، بل لقد ظل يتحرك في إطاره ويفكر بمعطياته. ولذلك يجب أن لا نبالغ في تقدير أهميته، وأن لا نربط نشوء العلم الحديث بمناهجه.

ثانياً: غاليليو وميلاد الفكر العلمي الحديث

١ ـ ملامح من شخصية الرجل

إذا كان بيكون قد بقي مشدوداً إلى الفكر القديم رغم ثورته عليه وانتقاده لأساليبه في البحث والعمل، فإن العالم الايطالي المشهور غاليليو Galilée (١٥٦٤ ـ ١٦٤٢) هو أول من قطع الصلة بالفكر القديم، وتخلّى عن مفاهيمه وأسسه وأساليبه، محدثاً طريقة جديدة في البحث تقوم على نظرة جديدة للطبيعة، نظرة علمية حقاً.

لقد أسّس غاليليو العلم الفيزيائي فأرسى دعائم منهاجه (المنهاج التجريبي)، ودشّن البحث في أهم فروعه التقليدية (الديناميك (أو علم الحركة)، الحرارة، المكبر... الخ)، وأسهم مساهمة كبرى في قيام الميكانيكا النظرية، علاوة على كشوفه الفلكية.

كانت نظرته إلى الكون نظرة مادية، فالعالم مادة وحركة، والحركة خاضعة لقانون العطالة (أو القصور الذاتي) Loi de l'inertie. لقد أوضح، بالتجارب (والغالب ما كانت تجاربه ذهنية، كما سنرى)، أن الحركة تسير بنفس السرعة وفي نفس الاتجاه (سرعة مستقيمة ومنتظمة) ما لم يكن هناك ما يزيد فيها أو ينقص منها أو يغير من اتجاهها. فحدد وضبط، هكذا، قوانين سقوط الأجسام وحركات النواس. ليس هذا وحسب، بل لقد كانت نظرته المادية، العلمية، هذه تشمل السماء أيضاً. لقد أكّد بقوة مادية الأجرام السماوية (التي كان العلم القديم يعتبرها كائنات لامادية، عقولاً أو نفوساً). ونظر إلى حركتها بوصفها لا تختلف في شيء عن الحركة التي تعتري الأجسام في الأرض، فقضى بذلك على التصور القديم الذي كان يقسم الكون إلى قسمين: العالم العلوي السماوي، عالم الخلود والوجود الدائم الكامل، والعالم السفلي، عالم الأرض، عالم «الكون والفساد».

وحينما كان غاليليو يستنتج من تجاربه على سقوط الأجسام قوانين حركة الأجسام على الأرض، كان كبلر Kipler (١٥٧١ ـ ١٦٣٠) يستخلص من ملاحظاته الفلكية قوانين حركة الأجرام السماوية. وكان كوبرنيك Copernic (١٤٧٣ ـ ١٥٤٣) قد برهن من قبل على أن الشمس، لا الأرض، هي مركز الكون، وهي فكرة زعزعت التصورات القديمة وأحدثت

ردود فعل قوية (الثورة الكوبرنيكية). وقد ناصر غاليليو نظرية كوبرنيك، بل إنه «أثبتها تجريبياً. وخرج بها من حيّز الرياضيات إلى حيّز الوجود الطبيعي»، وذلك بفضل ملاحظاته وكشوفه الفلكية. فلقد راقب الأجرام السماوية بواسطة تلسكوب (مكبر) صنعه بنفسه عام ١٦٠٥، وكان يكبر ثلاث مرات، فاكتشف بواسطته عدداً من النجوم التي لم تكن ترى بالعين المجردة وشاهد هضاب القمر ووديانه، واكتشف أقمار المشتري الأربعة وضبط حركتها، ورأى كلف الشمس (البقع السود التي تظهر على قرصها) واستنتج منها ومن حركتها على سطح الشمس أن الشمس تدور حول نفسها، إلى غير ذلك من الملاحظات العلمية التي ساهمت مساهمة كبرى في بناء العلوم الحديثة وتغيير نظرة الناس إلى الكون والطبيعة.

غير أن ما هو أهم من هذا كله تدشينه طريقة جديدة في البحث، هي الطريقة التي تدعوها اليوم بـ «المنهاج التجريبي». لقد أدرك غاليليو أهمية تطبيق الرياضيات على البحث في ظواهر الطبيعة فجعل منها العمود الفقري لكل بحث علمي حقيقي. يتجلى ذلك، ليس فقط من خلال أبحاثه وتجاربه وقوانينه التي حرص على التعبير عنها تعبيراً رياضياً، بل أيضاً من إدراكه الواعي أهمية الرياضيات، وتصريحه، في عبارات مشهورة بأنها أي الرياضيات، هي المفتاح الذي يحل ألغاز الطبيعة. لقد كتب يقول: «يجب أن يكتب على غلاف مجموعة مؤلفاتي ما يلي: سيدرك القارىء بواسطة عدد لا يحصى من الأمثلة، أهمية الرياضيات وفائدتها في الوصول إلى أحكام في العلوم الطبيعية. وسيدرك أيضاً أن الفلسفة الصحيحة (أي العلم الطبيعي) مستحيلة بدون الاسترشاد بالهندسة». ويقول أيضاً: «إن كتاب الفلسفة هو ذلك المفتوح دوماً أمام أعيننا (أي الطبيعة)، ولكن بما أنه مكتوب بحروف غير حروفنا الهجائية، فلا يمكن أن يقرأه كل الناس. إن الحروف التي كتب بها هذا الكتاب ليست شيئاً آخر غير المثلثات والمربعات والدوائر والكرات والمخاريط وغير ذلك من الأشكال الهندسية التي تمكن من قراءته». ذلك لأن الله كما يقول الكتاب المقدس «صنع جميع الأشياء من عدد ووزن وقياس».

إن تمكن غاليليو من اكتشاف عدة حقائق علمية جديدة، وفي اطار من التفكير جديد، وإدراكه الواعي أهمية الرياضيات في ضبط قوانين الطبيعة جعله يعي تمام الوعي أنه بصدد إرساء أسس علم جديد لم يسبق أن دشن البحث فيه أحد من قبل بهذا الشكل، علم سيعرف تقدماً كبيراً كما حدس غاليليو ذلك بنفسه، يقول: «غايتي أن أضع علماً بالغاً في الجدّة، يعالج موضوعاً بالغاً في القدم. وقد لا يكون في الطبيعة ما هو أقدم من الحركة، التي وضع الفلاسفة فيها كتباً ليست قليلة ولا صغيرة. ومع ذلك فقد اكتشفت بواسطة التجربة خصائص لها تجدر معرفتها، لم يسبق لأحد أن لاحظها أو أقام الدليل عليها. لقد وردت بعض الملاحظات السطحية كالقول مثلاً بأن الحركة الحرّة لجسم ثقيل ساقط يزداد تسارعها باستمرار، ولكن هذه الملاحظات لم تستمر إلى المدى الدقيق الذي به يتم هذا التسارع. والسبب أنه لم يصل إلى علمي أن واحداً من الباحثين أشار إلى أن نسب المسافات التي يقطعها جسم ساقط في فترات متساوية من الزمن لبعضها البعض ـ ابتداء من نقطة سقوطه ـ هي كنسب الأعداد الفردية التي تبتدىء بالوحدة العددية. لقد لوحظ أن القذائف والقنابل

تتبع خطاً منحنياً، ومع ذلك لم يشر أحد إلى أن هذا الخط المنحني هو مخروطي الشكل. لكنني نجحت في اقامة الدليل على هذه الحقيقة وحقائق أخرى كثيرة ومهمة، وإن ما هو أكثر أهمية من ذلك أنه فتحت أمام هذا العلم الواسع ـ وليس عملي فيه سوى مجرد بداية ـ طرق ومحاولات كثيرة سيستفيد منها علماء أقوى مني عقلاً، وسيذهبون فيها إلى أبعد نهايتها وأعمق نواحيها. والنظريات التي ساناقشها بإيجاز إذا ما تناولها باحثون آخرون فستؤدي باستمرار إلى معرفة جديدة مدهشة. وإنه لمن المعقول أن تشمل معالجة قيمة كهذه جميع نواحي الطبيعة باتباع مثل هذه الطريقة»[3].

تلك باختصار بعض ملامح هذه الشخصية العلمية الفذة، شخصية غاليليو الرائد الأول للفكر العلمي الحديث. وإذا نحن أردنا أن نلخص في عبارة واحدة الجديد الذي أتى به غاليليو والذي شكّل أساس العلم الحديث؛ قلنا إنه طريقته في التفكير ومنهجه في البحث. لقد اهتم غاليليو بالكشف عن العلاقات التي تربط بين الظواهر، الشيء الذي كان مهملاً من قبل، وترك جانباً البحث عن «المبادىء» و«الأسباب» الميتافيزيقية التي استحوذت على الفكر القديم. وبذلك أحدث غاليليو قطيعة ابستيمولوجية ـ معرفية ـ بين الفكر الجديد والفكر القديم. قطيعة لم يعد من الممكن بعدها العودة إلى أساليب التفكير القديمة والتصورات الأرسطية الوسطوية التي كانت تشكل أساس العلم والمعرفة.

ولكي نلمس عن قرب هذا المنهاج الجديد الذي شيّده غاليليو ـ المنهاج التجريبي ـ نرى من المفيد تتبع خطواته الفكرية في دراسة ظاهرة سقوط الأجسام، من مرحلة الملاحظة إلى مرحلة القانون.

٢ ـ سقوط الأجسام بين التفسير الميتافيزيقي والبحث التجريبي

ظاهرة سقوط الأجسام ظاهرة عادية معروفة. وقد فسّرها الفلاسفة القدماء تفسيراً ميتافيزيقياً إحيائياً (بنسب الحياة إلى أشياء الطبيعة)، على غرار ما فعلوا بالنسبة إلى ظواهر طبيعية أخرى: فأفلاطون، مثلاً، يرى أن سقوط الأجسام على الأرض، وعلى العموم انجذاب الأجسام بعضها إلى بعض، يرجع إلى قوة خفية كامنة في الأجسام نفسها، قوة تدفع الجسم إلى نوع من «التعاطف» مع جسم آخر، تماماً كما يميل الناس إلى بعضهم (الذكر إلى الأنثى، والصديق إلى الصديق..). ونفس الشيء ـ تقريباً ـ قال به أرسطو، فقد فسّر هذه الظاهرة بوجود قوة «طبيعية» تدفع الأجسام إلى الانجذاب إلى بعضها. فالسقوط أو الانجذاب هنا ـ في نظره ـ من «طبائع الأجسام» أي من خصائصها الذاتية. وقد تبنّى ابن سينا والفلاسفة العرب هذه الفكرة، فقالوا «إن الأجسام تطلب مركز الأرض». وعلى العموم، لقد اهتم الفلاسفة والمفكرون القدماء بهذه الظاهرة، وجعلوا منها أحد موضوعات

---

(٣) غاليليو، البراهين الرياضية لفرعين جديدين في العالم، وهو أهم كتبه، وقد أورد راندل النص أعلاه، في: المصدر نفسه، وعنه أخذناه.

«العلم الطبيعي»، ولكنهم كانوا، كما قال بيكون، يقفزون من الملاحظة الحسية إلى «الأسباب العامة».

أما غاليليو فقد نهج منهجاً آخر يختلف تماماً عن هذا النوع من التفكير. لقد ركّز اهتمامه على الظاهرة، كما هي في الطبيعة، باحثاً فيها وحدها، دارساً العلاقات المختلفة القائمة بين أجزائها، وبينها وبين ظواهر أخرى، معتمداً التجربة والاختبار العاميين، فتوصل هكذا إلى صياغة قانون الأجسام كما يلي:

١ ـ تسقط جميع الأجسام في الفراغ بنفس السرعة مهما كان وزنها وطبيعتها.

٢ ـ المسافة التي يقطعها الجسم الساقط متناسبة مع مربع الزمن الذي يستغرقه في السقوط.

فكيف توصل غاليليو إلى هذا القانون، وما هي الخطوات المنهجية التي اتبعها في هذا الشأن؟ ذلك ما سنوضحه في الفقرات التالية معتمدين على مناقشة غاليليو نفسه لهذه الظاهرة[4].

أ ـ من الملاحظة والفرضية إلى القانون

لاحظ غاليليو، بادىء ذي بدء، أن الأجسام لا تسقط بنفس السرعة، بل تتفاوت سرعة سقوطها باختلاف أوزانها (أو ثقلها)، فالجسم الثقيل يسقط قبل الجسم الخفيف إذا أطلقا من ارتفاع واحد (كرة من الحديد وقطعة من القماش مثلاً). إن هذه الملاحظة تحمل على الاعتقاد بأن اختلاف سرعة الأجسام الساقطة سببه اختلاف أوزانها. ولكن عندما ندقق في الأمر ونتوّع التجربة يتضح لنا أن هناك عنصراً آخر أهملناه ولم ندخله في الحساب، وهو الوسط الذي يحدث فيه السقوط، أي الهواء بالنسبة إلى الأجسام الساقطة على سطح الأرض. أفلا يكون لهذا الوسط تأثير في سرعة السقوط؟

إننا لو درسنا ظاهرة سقوط الأجسام في وسط آخر، كالماء، مثلاً، للاحظنا أن سرعة السقوط تغيّرت، مما يوحي بأن للوسط دوراً أساسياً في الظاهرة. وإذن، فهناك احتمالان: أولهما، أن اختلاف سرعة الأجسام الساقطة يرجع إلى اختلاف وزنها. وثانيهما، أن هذا الاختلاف نفسه يعود إلى مقاومةُ الوسط الذي يتم خلاله السقوط؟ فكيف سنفصل في الأمر، إذن؟

هنا لا بد من تجربة حاسمة، أي لا بد من البحث عن وسط تتم فيه عملية السقوط هذه بشكل يرجح أحد الاحتمالين على الآخر. اهتدى غاليليو إلى اجراء التجربة على صحن مملوء بالزئبق لكونه أكثر كثافة من الماء. يقول فلو أننا وضعنا قطعاً من الذهب والرصاص

---

(٤) اعتمدنا في عرضنا لمناقشة غاليليو لظاهرة سقوط الأجسام على المرجع التالي:
Galilée, «Dialogues des sciences nouvelles, première journée,» traduction: P.H. Michel, dans: Galilée, *Dialogues et lettres choisies* (Paris: Hermann, 1966), pp. 297-301 et 309-311.

والمعادن الأخرى فوق سطح إناء مملوء بالزئبق، للاحظنا سقوط الذهب وحده إلى قعر الإناء، وبقاء المعادن الأخرى فوق سطح الزئبق، علماً بأن هذه القطع المعدنية بما فيها الذهب، تسقط كلها في الهواء بنفس السرعة. وإذن، فإن الفكرة التي ترجحها هذه التجربة هي أن سرعة الأجسام الساقطة تزداد تفاوتاً، كلما كان الوسط الذي تسقط فيه أكثر مقاومة (الزئبق أكثر مقاومة (أو كثافة) من الماء، والماء أكثر مقاومة من الهواء. . .).

هذه هي النتيجة الأولى التي أدّت إليها الفرضية التي انطلقنا منها، فرضية اعتبار مقاومة الوسط مسؤولة، كلياً أو جزئياً، عن اختلاف سرعة الأجسام الساقطة. والسؤال الذي يتبادر إلى الذهن بوحي من هذه النتيجة هو: ترى ماذا سيحدث لو أننا تمكنا من ازالة مقاومة الوسط بالمرة؟ إن الاحتمال الذي ترجحه النتيجة السابقة هو أن الأجسام، في هذه الحالة، ستسقط كلها، مهما اختلف وزنها، في وقت واحد، وبسرعة واحدة. إن هذا مجرد فرض. إنه فرض مرجح ما في ذلك شك. ولكنه يحتاج، كغيره من الفروض المماثلة، إلى تجربة أخرى تؤكده. إن التجربة وحدها هي التي ستفصل في ما إذا كان هذا الفرض مجرد تخمين، أو أنه فرض صحيح، أي قانون؟

إن تحقيق هذا الفرض يتطلب اجراء التجربة في وسط خال من المقاومة تماماً، أي في الفراغ! ولكن كيف السبيل إلى ذلك والعصر، عصر غاليليو، لا يتوفر على الوسائل والتقنيات التي تمكن من اجراء التجارب في الفراغ! وأمام هذا العائق لجأ غاليليو إلى «تجارب ذهنية» وأخذ يلتمس لهذا الفرض ما يؤيده من الملاحظات التي كان بوسعه القيام بها، مستعيناً بالفكر والخيال، حريصاً على تصيد الفروق الدقيقة.

هكذا لاحظ أن الأجسام الساقطة المختلفة الوزن، يتضاءل الفرق بين سرعة سقوطها، عندما يكون الوسط أقل مقاومة، وذلك إلى درجة أن سرعة الأجسام الساقطة والمختلفة الوزن اختلافاً كبيراً، تكاد تكون واحدة عندما تكون مقاومة الوسط شبه منعدمة. فلو أننا أخذنا، مثلاً، كرة من الرصاص، ونفاخة جلدية في مثل حجمها، ولاحظنا الفرق الشاسع بين وزنيهما، وهو فرق قد يتعدى نسبة الواحد إلى الألف، ثم اعتمدنا تلك الفكرة القائلة إن سرعة السقوط راجعة أساساً إلى وزن الجسم الساقط، لكانت النتيجة المنطقية هي أن كرة الرصاص ستسقط قبل النفاخة الجلدية بنسبة ٩٩٩ إلى واحد. وبعبارة أخرى فإذا قدرنا أن كرة الرصاص ستسقط في ثانية واحدة، لوجب أن تسقط النفاخة الجلدية، في مدة ٩٩٩ ثانية لأن النسبة بين وزنيهما هي كما قلنا كنسبة الواحد إلى الألف. هذا ما يدل عليه التحليل المنطقي. ولكن التجربة لا تصدق هذه النتيجة. إن التجربة تشير إلى أن الفرق بين سرعة سقوط كرة الرصاص وسرعة سقوط النفاخة الجلدية لا يتعدى نسبة الواحد إلى اثنين، على الرغم من ذلك التفاوت الهائل بين وزنيهما. وإذن فإن سبب اختلاف سرعة سقوط الأجسام، ليس الوزن، أو الثقل، بل مقاومة الوسط، الشيء الذي يسمح لنا باستنتاج: أن الأجسام الساقطة في الفراغ، حيث تنعدم تماماً كل مقاومة، تسقط كلها بسرعة واحدة مهما اختلف وزنها وطبيعتها (القانون الأول).

ب ـ صنع الظاهرة وصياغتها رياضياً

لقد ركّز غاليليو انتباهه، لحد الآن على ثلاثة عناصر في الظاهرة المدروسة: وزن الأجسام، اختلاف سرعتها، مقاومة الوسط. وعندما أدّى به التحليل إلى اكتشاف العنصر الأخير بوصفه مسؤولاً عن حدوث السقوط، استطاع أن يحدّد الظاهرة تحديداً أولياً، فصاغ القانون الأول. إن هذا القانون مهم، ولا شك، ولكنه سيظل ناقصاً، سيظل قانوناً وصفياً، ما لم يتم تحديد سرعة السقوط، أي ما لم تكتشف العلاقة الحسابية بين سرعة السقوط ومقاومة الوسط. إن صياغة هذه العلاقة صياغة كمية رياضية هي وحدها التي ستجعل من هذا القانون، قانوناً بمعنى الكلمة، أي القانون الذي يمكن من التنبؤ سلفاً بسرعة سقوط الجسم عبر مسافة معينة، فكيف السبيل إلى تحديد هذه العلاقة وضبطها. وبعبارة أخرى كيف توصل غاليليو إلى القانون الثاني؟

عندما طرح غاليليو مسألة العلاقة بين سرعة السقوط ومقاومة الوسط خطا خطوة أخرى جديدة وأساسية في تحليل الظاهرة التي نحن بصددها. لقد أدّت بنا المرحلة السابقة من التحليل إلى اكتشاف دور الوسط الذي يتم عبره السقوط، وذلك بفضل تنويع التجربة وباجرائها في الهواء والماء والزئبق، وبمقارنة كرة الرصاص مع التفّاحة الجلدية. والآن يجب أن يتخذ تنويع التجربة شكلاً آخر. من ذلك مثلاً دراسة ظاهرة السقوط في وسط واحد، مع تنويع مسافات السقوط، وبذلك سنكون قد انتقلنا إلى مستوى آخر من التحليل، الشيء الذي سيطلعنا على حقائق جديدة.

لقد تبين، بالفعل، أن الأجسام الساقطة المختلفة الوزن تزداد سرعة سقوطها تفاوتاً بتفاوت المسافة التي تقطعها: كلما ازدادت المسافة ازداد الاختلاف في سرعة السقوط. لماذا؟ إن ذلك لا يمكن أن يكون راجعاً إلى اختلاف وزن الأجسام، فلقد تأكد لدينا من قبل أن سرعة السقوط لا تتعلق بالثقل ولا بطبيعة الجسم. وإذن، فلا يبقى إلّا أن تكون المسافة ذاتها هي سبب اختلاف سرعة السقوط من مسافات مختلفة. ولكن كيف يجوز ذلك، وكنا قد قررنا من قبل أن الأجسام تسقط دفعة واحدة في الفراغ؟ **إن الفرضية الجديدة التي علينا أن نقترحها يجب أن لا تتعارض مع الفرضية السابقة التي أصبحت قانوناً. يجب أن تتوافق** معها، وإلّا هدمنا ما بنيناه! وإذا نحن أمعنّا النظر قليلاً في هذه المسألة تبين لنا أن الأمر كله يتوقف فعلاً على اثبات أن الأجسام تسقط في الفراغ بسرعة واحدة رغم اختلاف المسافات. فكيف نتأدى إلى اثبات مع عدم قدرتنا ـ في عصر غاليليو ـ على اجراء التجارب في الفراغ؟

لنتابع البحث بالوسائل المتوفرة. ولنلاحظ أن الأجسام تتسارع عندما تسقط (والتسارع Accélération معناه زيادة السرعة أو انخفاضها أو تغير اتجاهها). وبخصوص الظاهرة التي ندرسها يعني التسارع أنه كلما طالت المسافة التي يقطعها الجسم الساقط، ازدادت سرعته، وهذا شيء تؤكده الملاحظة أو التجربة. فالحجارة التي تسقط على رجل مارٍّ في الطريق، من الطابق الأول أقل خطراً عليه من الحجارة التي تأتيه من الطابق العاشر مثلاً. إن وقع هذه أكبر وأخطر لأنها تنزل عليه بسرعة أكبر. هذا من جهة، ومن جهة أخرى يمكننا أن نلاحظ

أن الأجسام الثقيلة تسقط قبل الأجسام الخفيفة، وأن الفرق بين سرعة سقوط هذه وسرعة سقوط تلك بازدياد المسافة، فما السبب في ذلك؟

إن الفكرة التي تخطر بالذهن، والتي توحي بها هذه الظاهرة، ظاهرة تأثير المسافة في سرعة سقوط الأجسام، هي أن التسارع يزيد من مقاومة الوسط من جهة (فقطعة القماش التي تسقط من علو شاهق تتعرض لمقاومة الهواء مما يجعل سرعتها تتناقص)، ولكنه، أي التسارع، يعمل من جهة أخرى على انفتاح الوسط أمام الجسم بسرعة أكبر كلما كان الجسم أكثر ثقلا (قطعة الحديد التي تسقط من علو شاهق ينفتح لها الهواء بسرعة فتزداد سرعتها وذلك بفضل ثقلها في الهواء).

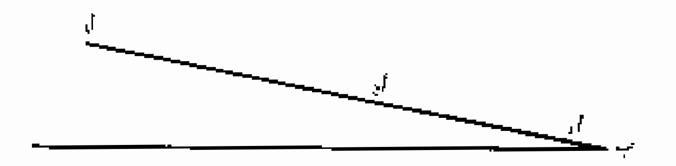
هنا، إذن، يلعب ثقل الجسم دوراً أساسياً: إن الجسم الثقيل يجبر الوسط على الانفتاح بسرعة، أما الجسم الخفيف فلا يفعل ذلك بنفس الدرجة. وهذا يعني أن قوة التسارع تعادل، أو تكاد، ازدياد مقاومة الوسط عندما يكون الجسم ثقيلاً، مما يجعله يسقط وكأنه يسير بسرعة منتظمة (غير متسارعة). أما الجسم الخفيف فهو لا يقتحم الوسط بنفس القوة، نظراً لخفته، أي لضآلة ضغطه على الوسط، الشيء الذي يعرقل سرعته، وذلك إلى درجة أن الأجسام الخفيفة جداً قد تظل معلقة في الهواء - كالريش مثلاً - إذا كانت مسافة السقوط كبيرة.

والنتيجة هي أن اختلاف مسافة السقوط يؤدي إلى اختلاف سرعة الأجسام الساقطة. بمعنى أن الزمن الذي يستغرقه الجسم في السقوط يتعلق بالمسافة.

كل ما تقدم كان عبارة عن محاكيات عقلية أو «تجارب ذهنية». فعلاوة على استحالة اجراء التجارب في الفراغ - في عصر غاليليو - كان من المستحيل أيضاً في ذلك الوقت ضبط سرعة الأجسام الساقطة من مسافات كبيرة. فكيف تمكن غاليليو، مع ذلك، من ضبط صحة هذه الفروض والاستنتاجات وصياغتها في شكل قانون رياضي؟

هنا، وفي مثل هذه الأحوال لا بد من صنع الحادثة. فالطبيعة لا تقدم لنا الظواهر كما نريدها. ولذلك كان الحادث العلمي حادثاً تجريبياً، حادثاً نموذجياً مصنوعاً، لا يوجد في الطبيعة بكل صفائه ونقاوته. عمد غاليليو إلى صنع الظاهرة بشكل يمكنه من التغلب على الصعوبات المذكورة آنفاً ومراقبة نتائج السقوط سواء تعلق الأمر بالأجسام الثقيلة أو بالأجسام الخفيفة، وسواء كانت مسافة السقوط طويلة أو كانت قصيرة. وأكثر من ذلك فإن صنع الظاهرة يمكننا من حساب زمن السقوط بدقة. إن إدخال عنصر الزمن هنا، بوصفه عاملاً أساسياً تتغير بتغيره العناصر الأخرى في الظاهرة (وهذا ما يسمى في اللغة العلمية المعاصرة بالمتغير الوسيطي Paramètre)، شيء ضروري وأساسي، لضبط الظاهرة ضبطاً دقيقاً.

فكّر غاليليو في الأمر، واهتدى إلى تجربته المشهورة المعروفة بـ «تجربة السطح المائل». لقد صنع غاليليو سطحاً مائلاً، كما في الشكل، الهدف منه دراسة ظاهرة سقوط الأجسام بشكل يسمح بتخفيض سرعة الجسم الساقط إلى أدنى حد ممكن. إذ كلما كان السطح أقل ميلاً كانت حركة الجسم الساقط عليه أقل سرعة.



أخذ غاليليو كرة حديدية صغيرة، وجعل يسقطها على هذا السطح المائل، باحثاً فيه عن النقط التي إذا وضع فيها الكرة الحديدية استغرق سقوطها، على التوالي، ثانية واحدة، ثم ثانيتين، ثم ثلاث ثوان. وبعد تكرار المحاولة استطاع أن يحدد النقاط المذكورة كما يلي، على التوالي: أ$_1$، أ$_2$، أ$_3$. ثم أخذ بقيس المسافات التي تفصل هذه النقاط عن نقطة السقوط (نقطة ب) فوجد أنه عندما تكون المسافة أ$_1$ ب (أي عندما يكون زمن السقوط ثانية واحدة) تساوي 20 سم، مثلاً تكون المسافة أ$_2$ب (زمن السقوط ثانيتان) تساوي 80 سم، والمسافة أ$_3$ ب (زمن السقوط ثلاث ثوان) تساوي 180 سم.

يمكننا أن نكتب النتائج كما يلي:

أ$_1$ب $= 20 = 1 \times 20 = 1^2 \times 20$

أ$_2$ب $= 80 = 4 \times 20 = 2^2 \times 20$

أ$_3$ب $= 180 = 9 \times 20 = 3^2 \times 20$

لقد حولنا الظاهرة، الآن، إلى علاقات رياضية، وبعبارة أخرى، إلى بنية رياضية، وغدا في إمكاننا دراسة هذه البنية (أو العلاقات) بصرف النظر تماماً عن المعطيات التجريبية التي كنا نتحدث عنها قبل (ثقل الأجسام، اختلاف سرعة السقوط، مقاومة الوسط، اختلاف المسافة...). إن هذه المعادلات الرياضية تبين لنا بوضوح أنه إذا افترضنا أن الجسم الساقط يقطع في ثانية واحدة مسافة م (في المثال السابق 20 سم) فإنه يقطع في ثانيتين مسافة م × 2^2، وفي ثلاث ثوان مسافة م × 3^2. وهذا يعني أن المسافة التي يقطعها الجسم الساقط متناسبة مع مربع الزمن الذي يستغرقه في السقوط (القانون الثاني). وهكذا أصبح في امكاننا الآن، ليس فقط ضبط ظاهرة السقوط، بل أيضاً التنبؤ مسبقاً بالزمن الذي يستغرقه السقوط عبر مسافات مختلفة إذا عرفنا مقدار الزمن الذي يستغرقه في السقوط عبر مسافة واحدة معينة.

* * *

تلك هي الخطوات المنهجية التي اتبعها غاليليو في تحليله ظاهرة سقوط الأجسام. وإذا نحن أردنا تلخيص خط سير هذه الخطوات في عبارة واحدة، قلنا إنها تتلخص في: **الانتقال من الملاحظة الكيفية** (ملاحظة أنواع السقوط واختلاف السرعة) إلى **الملاحظة الكمية** (العلاقة الحسابية بين مسافة السقوط وزمنه)، وهو الانتقال الذي يمكننا من **صياغة الظاهرة صياغة رياضية**، أي تحويلها إلى بنية رياضية، إلى **شبكة من العلاقات الجبرية**. وتلك خاصية أساسية جداً من خواص المنهاج التجريبي.

لنؤجل الآن الحديث عن خصائص المنهاج التجريبي، كما طبقه غاليليو، وكما يتحدث عنه اليوم علم المناهج، ولنعرج، قبل ذلك، على بعض المناقشات التي رافقت نشوء هذا المنهاج وقيام التفكير العلمي جملة، والتي تعكس جانباً من جوانب ذلك الصراع الذي احتدم ـ ويحتدم دوماً ـ بين القديم والجديد، كلما كان الأمر يتعلق باجتياز مرحلة حاسمة من مراحل التطور. إن هذا النقاش سيغني الملاحظات التي سجلناها سابقاً. وسيمدنا في ذات الوقت بفكرة واضحة عن الصعوبات ـ أو العوائق الابستيمولوجية ـ التي تعترض الناس عند محاولتهم الانتقال من البنية الفكرية العامة التي اندمجوا فيها وتأطروا بها إلى بنية فكرية جديدة تماماً. كما أن هذا النقاش سيجعلنا ندرك بعمق أكثر مدى تحرر غاليليو، دفعة واحدة، من سيطرة المفاهيم وطرق البحث القديمة التي لم يتحرر منها العلماء الذين جاؤوا بعده إلا نسبياً، وبعد فترة طويلة، مما يعطي القطيعة الابستيمولوجية التي أحدثها مع الفكر القديم والمعاصر له، أبعادها الحقيقية العميقة.

ثالثاً: من مظاهر الصراع بين القديم والحديث: ارتفاع السوائل ومشكلة الخلاء

لم ينشأ المنهاج التجريبي، كما حللناه من خلال مثال سقوط الأجسام، دفعة واحدة، ولم تكن الروح العلمية الجديدة التي ارتكز عليها لتسود وتنتشر دون مناقشة أو معارضة، بل لقد واكب هذا المنهاج، في نشأته وتطوره، العلم الحديث في قيامه ونموه ونضجه. فكما اصطدمت الآراء والأفكار الجديدة التي أسست عصر النهضة في أوروبا بالفكر القديم والوسيط في ميدان الفلسفة واللاهوت والآداب والفن، اصطدم التفكير العلمي بمفاهيمه الجديدة وطريقته التجريبية بالمفاهيم والطرق القديمة التي ظلت سائدة في العالم المتحضر منذ أفلاطون وأرسطو. لقد كانت نظرة الفلاسفة اليونان «وعلماء» القرون الوسطى إلى الكون وظواهره ترتكز على جملة من المفاهيم والتصورات الميتافيزيقية التي لم يكن من السهل التخلي عنها أو حتى تعديلها، مثل مفاهيم: المادة، والصورة، والجوهر، والوجود بالقوة، والوجود بالفعل، و«الطبائع»... الخ، وأيضاً مثل التصورات التي تفصل بين الأرض والسماء، وتقسم العالم، إلى عالم الكون والفساد وعالم الثبات والدوام، إلى غير ذلك من المفاهيم والتصورات التي كان من شأن التخلي عنها كلياً أو جزئياً، تقويض الفكر القديم كله.

وهكذا فالمسألة المطروحة مع قيام العلم الحديث على يد غاليليو كانت في الحقيقة والواقع، مسألة التخلي، أو عدم التخلي، عن البنية الفكرية العامة التي سادت خلال العصور الوسطى والتي استمدت كثيراً من عناصرها من الفلسفة اليونانية. ولذلك كان لا بد أن يلاقي العلم الحديث معارضة شديدة، ليس فقط من جانب رجال اللاهوت وأصحاب الكنيسة الذين كفروا العلماء وحاكموهم وشردوهم أو قتلوهم، بل لقد لقي الفكر العلمي كما شيّده غاليليو معارضة شديدة من جانب الفلاسفة والعلماء الذين كانت لهم مساهمات هامة في

الكشوف العلمية ذاتها. إذ لم يكن من السهل على هؤلاء الفلاسفة ـ العلماء التخلي كلية عن المفاهيم القديمة التي بنوا عليها فلسفاتهم وأسسوا انطلاقاً منها رؤاهم «العلمية» الفلسفية.

وهكذا، فإذا تركنا جانباً رجال اللاهوت و «دكاترة» القرون الوسطى الذين عارضوا التجارب وحرموا الكتب التي تتحدث عن النظريات الجديدة (كنظرية كوبرنيك مثلاً حول دوران الأرض حول الشمس) وطعنوا في طريقة عمل غاليليو لكونه يستعمل الرياضيات، وهي من انشاء ذهني خالص في معالجة الظواهر الطبيعية المشخصة المتغيرة، الشيء الذي لم يكن يستسيغه التقليد الأفلاطوني ـ الأرسطي، إذا تركنا جانباً مثل هذه الاعتراضات، وقصرنا اهتمامنا على المناقشات التي كانت تشتد وتحتدم في الأوساط العلمية الفلسفية وحدها، فإننا سنلاحظ أن القطيعة الايبستيمولوجية التي دشنها غاليليو لم تصبح قطيعة عامة على مستوى البنية الفكرية السائدة إلاّ بعد قرن من الزمن، أي بعد مجيء نيوتن وقيام ميكانيكاه العقلية. أما خلال المدة الفاصلة بين غاليليو ونيوتن فلقد بقيت البنية الفكرية القديمة تحاول الدفاع عن نفسها من خلال عدة مفاهيم تمسّك بها العلماء ـ الفلاسفة وبنوا عليها أنساقهم الفلسفية. ولم يكن من السهل التخلص منها، على الرغم من الكشوف العلمية الجديدة التي جاءت لتعزز كشوف غاليليو وطريقته التجريبية.

وسنحاول في الصفحات التالية أن نتعرف على بعض القضايا التي كانت مثار نقاش بين الفلاسفة والعلماء، والتي كانت تدور حول بعض المفاهيم والتصورات التي كانت تشكل نوعاً من «العوائق الايبستيمولوجية» لم تتم تصفية الحساب معها إلاّ بعد جهد وطول مدة.

١ ـ توريشلي وقصة المضخة

حدث ذات يوم من أيام سنة ١٦٤٢ أن لاحظ السقاؤون في حقول فلورانسا بايطاليا أن المضخة التي صنعها أحدهم لرفع الماء إلى مستوى أكبر من المستوى العادي المعروف لا ترفع الماء رغم كبرها، إلاّ إلى مستوى معين. إن الماء «يمتنع» من الصعود إلى أعلى المضخة، ويقف عند ارتفاع معين لا يتعداه. ذهب صاحب المضخة إلى غاليليو وأخبره بالأمر، فدُهش لهذه الظاهرة وذهب إلى عين المكان وتأكد من الأمر، ثم قال: يظهر أن الطبيعة لا تخاف الفراغ (أو الخلاء) إلاّ في حدود معينة. وكان أرسطو ومن بعده «علماء» القرون الوسطى يفسرون صعود الماء بالمضخة بكونه يخشى الفراغ (مكبس المضخة يسحب الهواء من قناتها فيصعد الماء). إن كلمة «يخشى» تذكرنا بذلك التفسير الاحيائي لظواهر الطبيعة الذي ساد قديماً.

كان مع غاليليو، وهو يومئذ شيخ مسن، تلميذ له اسمه توريشلي Torricelli (١٦٠٨ ـ ١٦٤٧) أثارت الظاهرة فضوله، فأخذ يفكر فيها في ضوء منهاج غاليليو في البحث، واهتدى إلى الفكرة التالية: إن ارتفاع الماء بالمضخة ليس سببه خوف الماء من الفراغ، كما يعتقد الناس، بل السبب الحقيقي والطبيعي هو الضغط الذي يمارسه الهواء على سطح الماء، فإذا وجد منفذاً خالياً من الهواء (قناة المضخة) ارتفع فيه بفعل ذلك الضغط. كانت هذه الفكرة

مجرد فرضية تخمينية، ولكنها ذات طابع علمي لأنها فكرة يمكن التحقق من صحتها بالتجربة. فكّر توريشلي في تجربة مصنوعة يثبت بها صحة هذه الفرضية وذلك باستبدال المضخة بقناة صغيرة من الزجاج، واستعمال الزئبق بدل الماء: أي بصحن وملأ نصفه بالزئبق والنصف الآخر بالماء، ثم أخذ قناة زجاجية وأغلق إحدى فوهتيها وملأها بالزئبق ثم سدّ الفوهة الأخرى بأصبعه وأدخلها مع جزء من القناة في الصحن، فلاحظ أن الزئبق الذي بالقناة سرعان ما أخذ في النزول تاركاً أعلى القناة فارغاً ليتوقف عند مستوى معين. رفع القناة قليلاً إلى المستوى الذي يجعل فوهتها المفتوحة تنتقل داخل الصحن، من الزئبق إلى الماء، فلاحظ أن الزئبق الذي بالقناة يعود إلى الارتفاع مصحوباً بالماء ليختلط مع هذا الأخير برهة من الزمن، ثم ليهبط كلّه تاركاً القناة الزجاجية كلها مملوءة ماء.

ما هي نتيجة هذه التجربة والملاحظة المقرونة بها؟ (لنسجل هنا أن الملاحظة العلمية مقرونة بالتجربة. فالباحث المجرب يلاحظ وهو يجرب، أو يجرب وهو يلاحظ. وتلك خاصية أساسية في الملاحظة العلمية).

لقد أكدت التجربة، مبدئياً، فرضية توريشلي: فعندما هبط الزئبق في القناة الزجاجية ترك وراءه فراغاً (افرغ القناة من الهواء) وعندما رفع توريشلي فوهة هذه القناة إلى مستوى الماء ارتفع الماء في القناة نظراً لفراغها من الهواء. ولا يمكن أن يفسر هذا الارتفاع إلا بتأثير الضغط الجوي. ومع ذلك فإن هذه التجربة لم تبت في الأمر بكيفية حاسمة. لقد نقلت فرضية توريشلي من مستوى **الفرضية التخمينية** Conjecture إلى مستوى **الفرضية العلمية** Hypothèse. لقد أوضحت هذه التجربة أن هناك فعلاً قوة ما ترفع السوائل إلى مستوى معين يتغير حسب نوعية السوائل، ولكنها لم تثبت بما لا يقبل الشك أن هذه القوة هي الضغط الجوي. فلا بد، إذن، من تنويع التجربة والاهتداء إلى التجربة الحاسمة.

٢ ـ باسكال وقانون توازن السوائل

سمع باسكال Pascal (١٦٢٣ ـ ١٦٦٢) بقصة المضخة وتفاصيل التجربة التي قام بها توريشلي. فأراد أن يتأكد من صحة فرضية هذا الأخير. بدأ عمله بالقيام بتجارب مماثلة بواسطة أنابيب زجاجية تختلف طولاً وعرضاً وشكلاً ليتأكد من صحة نتائج تجربة توريشلي. فكانت النتيجة هي هي: السائل يرتفع في الأنابيب إلى حد معلوم لا يتعداه. ثم نوّع التجربة بالإبقاء على نفس الأنابيب وتغيير السوائل (زئبق، ماء، زيت، نبيذ... الخ)، فتأكدت الظاهرة من جديد.

ومع ذلك كله أدرك باسكال أن البحث ما زال في بداية الطريق: إن التأكد من الظاهرة لا يعني أن فرضية توريشلي أصبحت قانوناً. إن الشيء الوحيد الذي من شأنه أن يحولها إلى قانون هو العثور على تجربة تكشف عن **العلاقة** بين ارتفاع السوائل والضغط الجوي. فإذا تمكّنا من اجراء تجربة تثبت لنا تغيّر مقدار ارتفاع السوائل بتغير قوة الضغط

الجوي (كما هو الشأن في الدوال الرياضية) أمكننا حينئذ صياغة هذه الفرضية على شكل قانون، وهنا تخيل باسكال تجربة حاسمة تجري في آن واحد في سفح الجبل ووسطه وقمته، ومعروف أن الضغط الجوي أقوى في سفح الجبل منه في وسطه، وأقوى منه في قمته. كان باسكال يعيش في منطقة روان Rouen وهي غير جبلية، فكتب إلى صهره واسمه بيريي Périer الذي كان يسكن منطقة كليرمان فيران Clermont-Ferrand الجبلية وطلب منه اجراء التجربة المطلوبة. فقام بها سنة ١٦٤٨ ولاحظ أن مستوى الزئبق في أنبوبة توريشلي كان عند سفح جبل «بي دو دوم» Puy de Dôme على مستوى 26 اصبعاً وثلاثة أجزاء ونصف، ثم صعد الجبل وعند قمته لاحظ أن مستوى الزئبق في الأنبوبة المذكورة قد انخفض إلى 23 اصبعاً وجزأين. وعندما أخذ في النزول من قمة الجبل أجرى تجارب في وسط الجبل، فكانت النتيجة ارتفاع مستوى الزئبق بالنزول إلى الأرض حتى إذا عاد إلى سفح الجبل وجد نفس النتيجة التي لاحظها قبل بدئه الصعود. وهكذا تأكد أن هناك **علاقة مطردة** بين ارتفاع الزئبق في الأنبوبة وبين الضغط الجوي: يزداد بازدياده وينقص بنقصانه، فكتب إلى باسكال بالنتيجة، وكان هذا الأخير يقوم بتجارب مماثلة في محل اقامته، تارة في أعلى منزل، وتارة على الأرض، فحصل على نفس النتيجة، وهي ارتفاع الزئبق في الأنبوب الزجاجي بارتفاع الضغط الجوي وانخفاضه بانخفاضه. فتأكدت بذلك فرضية توريشلي، وأصبح الضغط الجوي هو السبب في ارتفاع السوائل في الأنابيب الفارغة.

لم يقف باسكال عند هذا الحد، بل عمّم هذا القانون، معتبراً التجارب التي قام بها هو وصهره جزءاً من **ظاهرة عامة**، **ومظهراً لقانون عام في الطبيعة**، فواصل أبحاثه وتجاربه على مختلف الأواني والسوائل، وتوصل في النهاية إلى قانون «توازن السوائل» المعروف. هذا بالإضافة إلى التطبيقات العملية والصناعية التي فتح المجال لها أنبوب توريشلي. لقد تحوّل هذا الأنبوب فيما بعد إلى وسيلة لقياس الضغط الجوي (بارومتر)، وأداة لقياس الارتفاعات، وتوقع أحوال الطقس[٥].

٣ ـ مشكلة الخلاء بين الفلسفة والعلم

قد يبدو أنه من غير المعقول أن يناقش المرء، بعد كل هذه التجارب، فرضية توريشلي ونتائجها. ولكن الذي حدث هو العكس تماماً: ذلك لأنها تنطوي على تصور جديد للطبيعة يختلف اختلافاً جذرياً عن التصور السائد من قبل. لقد كان هناك «عائق ايبستيمولوجي»

(٥) بخصوص باسكال، انظر: نجيب بلدي، باسكال، سلسلة نوابغ الفكر الغربي (القاهرة: دار المعارف، [د. ت.])؛

Emile Boutroux, *Pascal*, les grands écrivains français (Paris: Hachette, 1900); Jacques Chevalier, *Pascal*, les maîtres de la pensée française (Paris: Plon, [1922]); Léon Brunschvicg, *Le Génie de Pascal* (Paris: [s.n.], 1924), et Pierre Humbert, *L'Œuvre scientifique de Blaise Pascal* (Paris: [s.n.], 1947).

يمنع بعض الفلاسفة والمفكرين من قبول نتائجها: لقد كان القدماء، وعلى رأسهم أرسطو، يقولون باستحالة وجود فراغ مطلق، لأنه لو وجد مثل هذا الفراغ لوصل المتحرك إلى بغيته دون زمان، وبذلك يبطل الزمان وتبطل الحركة! هذا من جهة، ومن جهة أخرى كان ديكارت ـ وهو معاصر باسكال ـ قد أرجع العالم كله إلى عنصرين اثنين: الفكر والامتداد. فالطبيعة عنده ملأى كلها بالمادة التي ترجع في نهاية التحليل إلى الامتداد Etendue (الشمعة مادة، وعندما تحترق يبقى منها شيء ما هو الامتداد). ولذلك عارض ديكارت فكرة وجود فراغ مطلق لأنها تتعارض تماماً مع أساس فلسفته، وقال: الأنبوبة الزجاجية التي تحدثنا عنها سابقاً ليست فارغة بالمرة، بل إنها عندما تبدو «فارغة» تكون في «الحقيقة» مملوءة بمادة لطيفة Matière subtile، مادة رقيقة جداً لا يمكن إثبات وجودها بالتجربة!

إننا هنا، إذن، ازاء فرضية ميتافيزيقية، «لا يمكن اثباتها بالتجربة» وفي ذات الوقت «لا يمكن الاستغناء عنها»، وإلاّ أدّى ذلك إلى انهيار «العلم» الأرسطي كله، والفلسفة الديكارتية كلها. فكان طبيعياً أن يحتدم النقاش حول وجود الفراغ المطلق أو عدم وجوده، بين السائرين على التقليد الأرسطي، والمناصرين لديكارت من جهة، وبين أولئك الذين أخذوا يتشبعون بالروح العلمية التي دشنها غاليليو، والذين لم يعودوا يقبلون الفرضيات إلا ما تؤكده التجارب، من جهة أخرى.

ورغم أن باسكال لم يكن قد قطع نهائياً مع الفكر القديم، وخاصة الجانب اللاهوتي منه، ورغم أنه كان ديكارتيا في فلسفته، فإنه بقي مع ضرورة الأخذ بالنتائج التي تسفر عنها التجربة ويؤكدها التحقيق العلمي. تلقى باسكال من أحد معارفه رسالة يقول فيها: إن ما تدعوه خلاء هو مملوء، لأن له فعل الأجسام، فهو ينقل الضوء، وينكسر فيه وينعكس عليه، ويعرقل حركة جسم آخر (يتعلق الأمر هنا بالفراغ الموجود داخل الأنبوبة الزجاجية)، فرد عليه باسكال برسالة يضع فيها إحدى القواعد الأساسية للفكر العلمي والمنهاج التجريبي. قال باسكال: «إن العقل لا يقبل شيئاً ولا يرفضه، بشكل قاطع، إلا إذا كان الأمر يتعلق ببداهة عقلية أو ببرهان (لاحظ تأثير منهج ديكارت عليه). فما دام الفرض لم يكتسب اليقين ببداهة أو برهان، فإنه يبقى مجرد فرض، مع الميل إلى صحته». ثم أخذ باسكال يحلل في رسالته مزاعم مكاتبه ويفندها قائلاً: إن انكسار الضوء الذي تتحدث عنه ليس شيئاً آخر سوى انكسار الأشعة على زجاج الأنبوب. وحتى إذا سلّمنا جدلاً، بأن هناك مادة ما في الأنبوب الفارغ، فهي لا تؤثر في الشعاع الضوئي. وإذا افترضنا مع ذلك أن لها نوعاً من التأثير فيه، فإنه «تأثيره غير قابل للملاحظة. أما عن كون الشعاع الضوئي الذي يمر في الأنبوبة الفارغة يستغرق زمناً خلال مروره عبرها، مما يدل في نظرك على وجود مادة بداخلها، فهذا ما لا يمكن تأكيده أو رفضه، ما دمنا لا نعرف مسبقاً حقيقة الضوء، وحقيقة الفراغ، وحقيقة الحركة، إذ لا بد من معرفة ذلك كله حتى نستطيع البت في افتراضكم. ولكن بما أننا نجهل ذلك، وبما أن التجربة تبين أن الضوء يمر عبر الأنبوبة الفارغة، وأن حركته فيها تستغرق زمناً، فإنه لا بد لنا من أن نستنتج أن الضوء يسير في الفراغ (الظاهري على الأقل)، وأن الحركة داخل هذا الفراغ تتم في زمان. هذا ما تدلنا عليه التجربة، ويجب أن نقبل

بذلك، «وأن لا نستنتج نتائج من أمور نجهلها»[6].

إن هذه القاعدة المنهجية الثمينة، بالإضافة إلى الملاحظات التي سجلناها سابقاً، تجعل في إمكاننا الآن استخلاص حقيقة الروح العلمية وخصائص المنهاج التجريبي وخطواته.

رابعاً: نتائج عامة: خطوات المنهاج التجريبي وخصائصه

نستخلص من كل ما سبق أن المنهاج التجريبي يتألف، بكيفية اجمالية تخطيطية، من الخطوات التالية: الملاحظة، الفرضية، التجربة، القانون، ولكن علينا أن لا ننظر إلى هذه الخطوات كمراحل مستقلة، أو كخطوات تتتابع بهذا الترتيب ضرورة.

والواقع أن الملاحظة العلمية تسبقها في غالب الأحيان فكرة موجهة، هي الفرضية في شكلها التخميني، ولا تصبح هذه الفكرة فرضية علمية إلّا إذا سبقتها ملاحظات وتجارب. وإذن هناك تداخل بين هذه الخطوات، مما يجعل من الصعب ضبط أيها أسبق من الأخرى. وسنرى في الفصل القادم كيف أن حركة الفكر في المنهاج التجريبي تتمحور كلها حول الفرضية، مما يجعل من هذا الأخير منهاجاً فرضياً ـ استنتاجياً.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن التحليل الذي قدمناه سابقاً لظاهرتي سقوط الأجسام وارتفاع السوائل يكشف لنا عن جملة من الخصائص الأساسية تميز المنهاج التجريبي، وهذه أهمها:

١ ـ المنهاج التجريبي يعتمد الاستقراء أساساً، ولكن لا الاستقراء الأرسطي، بل الاستقراء العلمي: الاستقراء الأرسطي استقراء للكيفيات والخصائص، يقفز من الوقائع الجزئية إلى «المبدأ العام»، من الصفات الخاصة، إلى الصفات العامة. وهكذا فمن استقراء أكثر ما يمكن من أنواع الأجسام التي تسقط والسوائل التي ترتفع في الأنابيب (فقط أكثر ما يمكن، ولهذا كان الاستقراء بهذا المعنى ناقصاً دوماً) يتم القفز إلى القول إن في الأجسام الطبيعية خاصية ذاتية تجعلها تسقط، أو أن الماء يخشى الفراغ. إن هذا النوع من الاستقراء لا ينتج شيئاً في مجال المعرفة العلمية، فهو يكتفي بوصف الظواهر وصفاً كيفياً. أما الاستقراء العلمي فهو لا يقف عند حد تعداد الظواهر والاستعراض الكيفي للصفات، بل إنه يعمد أساساً إلى دراسة حالة واحدة واستقراء الأوجه التي تتمظهر فيها وتحليل العناصر التي تتألف منها. إن هذا هو ما يسمى اصطلاحاً بـ «التحليل» Analyse.

٢ ـ وكما يعتمد المنهاج التجريبي على الاستقراء العلمي أو التحليل يعتمد كذلك على الاستنتاج أو التركيب Synthèse. فالملاحظة والتجربة توحيان أثناء التحليل بالفكرة،

---

(٦) انظر نص الرسالة في: Robert Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, collection U_2; 46 (Paris: Armand Colin, 1969), pp. 57-65.

الفرضية، ومن هذه الفرضية ينطلق الباحث في عملية متنامية يركب فيها العناصر التي تم الكشف عنها أثناء التحليل تركيباً منطقياً، إلى أن يصل إلى صياغة قانون أو مبدأ عام، يعمّمه على جميع الظواهر.

وكما يختلف الاستقراء العلمي عن الاستقراء الأرسطي، يختلف كذلك الاستنتاج أو التركيب، في ميدان العلم، عن الاستنتاج المنطقي المحض (عن القياس الأرسطي)، لأن الاستنتاج عكس الاستقراء، هو عملية ينتقل فيها الذهن من العام إلى الخاص. بيد أن القياس الأرسطي يهتم بالناحية الصورية فقط مهملاً الناحية المادية. فإذا قررنا أن جميع الأجسام تسقط على الأرض، وأن البخار جسم، استنتجنا بكيفية آلية أن البخار يسقط على الأرض. هذا صحيح منطقياً، صحيح من الناحية الصورية، ولكن ليس من الضروري أن يكون صحيحاً من الناحية الواقعية التجريبية، فالمشاهدة اليومية تشير إلى أن البخار يصعد إلى السماء (بخار البحر يصعد إلى الطبقات الجوية العليا ليكوّن السحاب). إن ما يعنى به القياس الأرسطي هو الحرص على أن يتم الانتقال من المقدمات إلى النتائج دون ارتكاب خطأ في التفكير، أما مطابقة المقدمات والنتائج لما في الواقع التجريبي فذلك ما لا يهتم به. ولذلك كان الاستنتاج الأرسطي صورياً محضاً.

٣ - والتجربة في المنهاج التجريبي، تجربة مخبرية أساساً، إنها انتقال من الملاحظة العامية إلى ملاحظة عالمة مجهزة دقيقة. ذلك ما يميز ملاحظة العالم عن ملاحظة الفيلسوف والفنان والكاتب، أولئك الذين يتعاملون مع الطبيعة كما هي معطاة لنا، أما العالم المجرب فهو يصنع العالم الذي يتعامل معه، يعزل الظواهر ويصنعها، لأن الطبيعة لا توجد فيها حوادث معزولة.

إن عزل الظاهرة المدروسة هو أول عمل يقوم به المجرب، وهذا لا يتأتى له، في غالب الأحيان، إلاّ في المختبر. فهناك، داخل مختبره وبواسطة آلاته وأدواته، يتمكن من استعمال القياس ورصد الجانب الكمي في الظاهرة، واكتشاف العلاقات القابلة للتكرار والوقوف على المتغيرات الوسيطية (البراميترات). فإذا حصل على ذلك كله، ركب تلك الحدود والعلاقات في معادلة رياضية، وصاغ القانون العلمي.

٤ - ومن هنا يتضح لنا أن أهم ما يميز المنهاج التجريبي الحديث، وبالتالي الفيزياء كلها، هو الاعتماد إلى أبعد حد على الرياضيات. نقصد بذلك صياغة عالم التجربة صياغة رياضية، أو إرجاع حوادث الطبيعة إلى بنيات رياضية.

ولا يتعلق الأمر هنا بمجرد تطبيق الحساب على حوادث الطبيعة، فالقدماء كانوا يفعلون ذلك أحياناً، خاصة في ميدان الفلك، وإنما يتعلق الأمر أساساً بتحويل المعطيات الحسية، الغنية المشخصة، إلى كميات تجريدية، أي إلى رموز جبرية. وبالتالي تقويض الحواجز التي أقامها الفكر الميتافيزيقي القديم بين الرياضيات بوصفها من عالم الذهن، وبين الواقع المشخص، وجعلهما متوافقين متطابقين. أما كيف يتطابق هذا مع ذلك. كيف تستطيع

الرياضيات، وهي من إنشاء الذهن، أن تعبّر، عند تطبيقها عن معطيات الواقع، عن حقيقة هذا الواقع، فتلك مشكلة ابستيمولوجية عالجناها في الجزء الأول من هذا الكتاب (الفصلان الرابع والخامس).

لقد تحدّثنا عن المنهاج التجريبي من الخارج فبيّنا خصائصه وشرحنا خطواته، مستعينين بأمثلة من تاريخ العلم. وعلينا أن ننتقل الآن إلى مستوى آخر من التحليل أعمق قليلاً، مستوى فحص الهيكل الداخلي لهذا المنهاج.



الفصل الثاني

المنهاج الفرضي الاستنتاجي في الفيزياء

(ديكارت، هويغنز، نيوتن)

عرضنا في الفصل السابق لخطوات المنهاج التجريبي وخصائصه العامة كما استخلصناها من دراسة غاليليو لظاهرة سقوط الأجسام. وأكدنا على ضرورة النظر إلى تلك الخطوات والخصائص بوصفها كلاً لا يقبل التجزئة، مبرزين مدى التداخل بين ما نسميه «ملاحظة» وما ندعوه «تجربة» وما نطلق عليه اسم: «فرضية». فالملاحظة والتجربة تندمجان، غالباً، في عملية واحدة، وتوجهها فكرة معينة، هي الفرضية في مرحلتها التخمينية. **والمنهاج التجريبي كله، هو عبارة عن مسلسل من الأفكار والاجراءات العملية التجريبية يهدف إلى الانتقال، تجريبياً ومنطقياً، بالفرضية التخمينية إلى الفرضية المؤكدة (أي القانون)**. إنه يبدأ بجملة من الفروض لينتهي عبر الملاحظة والتجربة والمحاكمة الذهنية إلى جملة من النتائج يعبّر عنها تعبيراً رياضياً، في الغالب، على شكل قانون حتمي. فهو من هذه الناحية **منهاج فرضي - استنتاجي** Hypothetico-deductive لا يختلف من الناحية الشكلية عن المنهاج الرياضي (الأكسيومي). والفرق الأساسي بينهما هو أن الفرضيات في الاستدلال الرياضي تبقى مجرد مسلمات أو مصادرات، يؤخذ بالنتائج المستخلصة منها على أنها نتائج صادقة ما لم يكن هناك خطأ أو ثغرة في عملية الاستدلال. أما في الفيزياء فإن النتائج التي تستخلص من الفروض تبقى غير ذات قيمة ما لم تكن وسيلة تؤكد أو تكذب تلك الفروض نفسها، وذلك بواسطة التجربة. وعليه فإن المنهاج التجريبي في أرقى صوره، بل في صورته الحقيقية، هو عبارة عن خطوات فكرية وعملية تبدأ باقتراض فروض وتنتهي إلى اخضاع النتائج التي نستخلص منها، منطقياً، للتجربة قصد التأكد من صحتها (أي صحة تلك الفروض). وسنحاول في الصفحات التالية تتبع نشأة وتطور هذا المنهاج في الفيزياء وبيان خصائصه العامة.

أولاً: المنهاج الديكارتي بين الفلسفة والعلم

من المعروف أن ديكارت Descartes (١٥٩٦ - ١٦٥٠) شيّد نظاماً فلسفياً متماسكاً، انطلق في بنائه «بترتيب ونظام» من الكوجيتو: أنا أشك، وأعرف أني أشك، وبالتالي فأنا

أفكـر، وإذن، فأنـا موجـود. هذه الحقيقـة بديهيـة، كما يقـول ديكارت. والمشكلة هي كيف الخروج من الكوجيتـو، من «أنـا أفكـر»؟ وجـد ديكـارت لنفســه مخـرجـاً، بفحص أفكـاره و«عثوره» فيها على فكرة كائن كامل، مطلق الكـمال (الله). بحث عن مصدر هـذه الفكرة، فقال: إنها لا يمكن أن تكون تـابعة مني أنـا الكائن النـاقص، إذ لا يعقل أن يكـون النـاقص مصـدراً للكمال. فلا بد أن يكون هذا الكائن الكامل هو الـذي أودعها فيّ، ولا بـد أن يكون هو نفسه موجوداً، لأن كماله يقتضي وجوده، كما يقتضي أنه إله غـير خدّاع. هـذه هي الخطوة الأولى في عمليـة الخروج من الكوجيتـو. أما الخطوة الثانية فهي كل ما يلي: بما أن هذا الكائن الكامل لا يمكن أن يخدعني لأنه كامل، والكمال يتنافى مع الخداع، وبما أن لدي ميلاً قويـاً إلى اعتبار هذا «العـالم» الخارج عن نفسـي مـوجوداً، فـإني أسلم بوجـوده يقيناً. والله ضـامن هذا اليقين.

وإذن، فيمكنني أن أبني علماً ومعرفة بهذا العالم، شريطة أن أنطلق في عمليـة البنـاء هذه من الأفكار الواضحة، ثم أستنتج من هذا العلم وهذه المعرفة التـطبيقات التقنيـة التي تمكنني من السيطرة على الطبيعة. هكذا تصبح الفلسـفة عند ديكارت كشجرة، جذورها الميتافيزيقـا، وجذعها الفيزياء، وأغصانها المتفرعـة عنها هي مختلف العلوم التـطبيقية التي تـرجع إلى ثـلاثة رئيسـيـة: الطب، والميكـانيك، والأخـلاق. الميتافيـزيقا هي أسـاس للفيزيـاء، ومن الفيزيـاء تستنتج التطبيقات العملية.

هذا النظام المنطقي الذي يحدثنا عنـه ديكارت في كتبـه الفلسفية غـير النظام التـاريخي الذي سـار عليه فكره. فلقد بدأ ديكارت كعالم وكرياضي قبل أن ينتهي به الأمر إلى الفلسـفة. بـدأ حياتـه كعالم ومجرب، فبحث في السرعة والتسـارع، وصـاغ قـانون القصـور الـذاتي (أو العطالة) واهتم بالضوء بضبط قانون انكسـاره، وأنشأ الهندسة التحليليـة، واستعمل الحـروف في الجبر بدل الأعداد، واستبدل بالحروف الأشكـال الهندسيـة. واهتم بالعـلاقات الـرياضيـة العامة.

ألحّ ديكارت على أهمية المنهاج الرياضي وضرورة اصطناعه، لأنه وحده طـريق اليقين. ولذلك فهو عندما يدعو إلى تعلم الرياضيات، لا يقصـد من ذلك اكتســاب معرفـة بالأعـداد والأشكال وخواصها كما كان الشأن من قبل، بل من أجل تعويد الذهن عـلى استعمال المنهج أو الطريق الذي يوصـل إلى اليقين. إن المهم في نظره ليس تطبيق الرياضيات عـلى الطبيعـة، وإن كان قد فعل هو نفسـه ذلك في مرحلته العلمية، بل المهم بالنسبة إليه الآن كفيلسـوف هو الحصول منها على طريقة تجنبنا الوقوع في الخطأ وتهدينا إلى مسـتقيم التفكير. وبـإمكان النـاس جميعاً أن يحصـل لهم ذلك «لأن العقل السـليم هـو أعدل الأشيـاء قسمة بـين النـاس». وإذن، فوحدة المنهج لديه راجعة إلى وحدة الفكرة، لا وحدة العالم. فالعالم كثير ومتغير. أما العقل فواحد. وفي وحدة العقل تجد وحدة العالم شرطها الكافي[1].

---

(١) لا نحتاج إلى الإشارة إلى المراجع حول ديكارت فهي كثيرة معروفة، وكتبه معروفة متداولة كـذلك. ومن المراجع المختصرة نشير إلى كتاب: نجيب بلدي، ديكـارت، سلسلة نوابغ الفكر الغربي (القاهـرة: دار =

ما الذي يجعل المنهاج الرياضي مثلاً أعلى للمعقولية وطريقاً أكيداً لبلوغ اليقين؟ إنه النظام والقياس: **النظام الذي يمكن من استنتاج المجهول من المعلوم، والقياس** الذي يمكن من تحويل الأشياء إلى مقادير كمية بواسطة وحدة نختارها كأساس للقياس. النظام يجعلنا نضع كل حد في مكانه في العبارة الرياضية فنتأدى بذلك إلى الكشف عن قيم الحدود المجهولة، وذلك بعد أن نكون قد حوّلنا الكيفيات إلى كميات بواسطة القياس.

ولكن كيف السبيل إلى تقويم عقولنا حتى تتعود العمل بنظام وترتيب؟

ليس من سبيل إلى ذلك **إلاّ بفحص العمل نفسه، في حالته الخالصة واكتشاف قواه** الأساسية. وإذا نحن قمنا بهذا الفحص تبيّن لنا أن قوى العقل ترجع في نهاية التحليل إلى قوتين: **الحدس والاستنتاج**. بالحدس، وهو رؤية عقلية مباشرة، نكتشف الطبائع البسيطة، أي الأفكار والمبادىء التي لا يمكن ارجاعها إلى أبسط منها، مثل الامتداد والحركة، ومثل «الحقائق البديهية» كـ «أفكر إذن أنا موجود»، ومثل العلاقة«التي تقوم بين حقيقة ما والحقيقة المرتبطة بها، مثل 1 + 3 = 4. وإذن، **فالبساطة التي يعنيها ديكارت هنا ليست بساطة المفاهيم أو الأشياء، بل بساطة الفعل العقلي**. فالفعل العقلي البسيط ـ في نظره ـ يجعلنا ندرك الله كطبيعة بسيطة مثلما ندرك الدائرة والعدد والشكل ووجودي أنا، ومن ثمة **فالمقصود بالنظام عند ديكارت هو نظام العقل لا نظام الأشياء**. ولذلك كان الاستنتاج هو الحصول على حقائق جديدة من حقائق تمت معرفتها بواسطة الحدس. ومن هنا يكون الفرق بين الاستنتاج الأرسطي والاستنتاج الديكارتي هو أن الأول عبارة عن رابطة بين مفاهيم (مفهوم الانسان ـ سقراط، ومفهوم الموت)، في حين أن الثاني هو رابطة بين حقائق (من حقيقة «أفكر فأنا موجود» استنتج حقيقة وجود الله كضامن لليقين، ثم حقيقة وجود العالم الطبيعي... الخ). الاستنتاج الديكارتي هو حركة فكرية متواصلة يقوم بها فكر يرى الأشياء الواحد تلو الآخر، بوضوح كامل. إنه استنتاج يقوم على قضايا يقينية، ويقينها راجع إلى البداهة العقلية، أي إلى الحدس، في حين يقبل القياس الأرسطي القضايا الاحتمالية ويعتمد في يقينه على «الاستقراء التام» وهو متعذر.

منهج ديكارت، إذن، **منهج فرضي ـ استنتاجي**. فهو ينطلق من «الحقائق» التي تدلنا عليها البداهة العقلية (أي من الفروض)، ومنها يستنتج نتائج، ومن هذه النتائج يستخلص نتائج جديدة، حتى يصل إلى نتائج تفسر العالم الطبيعي. وللتأكد من صحة هذه النتائج الأخيرة **يلجأ إلى التجربة**. وديكارت يلح على ضرورة اعتماد التجربة، ليس عند بداية البحث وحسب، بل عند نهايته أيضاً.

ولكي نأخذ فكرة أوضح عن هذا المنهج الفرضي ـ الاستنتاجي ـ التجريبي الديكارتي نترك ديكارت نفسه يحدثنا عنه. يقول: لقد عملت أولاً على الحصول على المبادىء الأولى التي

= المعارف، [د. ت.])، و Ferdinand Alquié, *Descartes: L'Homme et l'œuvre*, connaissance des lettres; 45 (Paris: Hatier-Boivin, 1956).

هي علة كل ما يوجد، وما يمكن أن يوجد، دون اعتبار أي سبب آخر غير الله خالق الكون، والبذور التي زرعها فينا (يقصد الأفكار الفطرية). ثم بحثت بعد ذلك عن الموجودات العامة التي نستها إلى هذه الأسباب الأولى، فوجدت السموات والنجوم والأرض والبحار... وغير ذلك من الأشياء التي يعرفها الجميع. وعندما أردت النزول إلى ما هو جزئي ومختلف، إلى ما هو خاص، وجدت نفسي أمام كثرة واختلاف، فذهلت لأني لم أتبين كيف أعالجها بوصفها نتائج للأسباب الأولى. فعدت بذهني إلى الأشياء التي لا تقدمها لي حواسي (كالامتداد والحركة) فوجدت أنه لا يوجد في الحوادث الجزئية ما لا يمكن ارجاعه إلى تلك المبادىء والقوانين (ومن هنا النزعة الميكانيكية الديكارتية). لكن الصعوبة هنا قائمة في تعيين المبادىء، التي ترجع إليها هذه الظاهرة أو تلك. ووسيلتنا الوحيدة للتأكد من ذلك هو الرجوع مجدداً إلى التجربة، فهي وحدها التي تفصل فيها إذا كانت هذه الظاهرة تعود إلى هذا المبدأ أو أنها ترجع إلى مبدأ آخر.

واضح من هذا أن نقطة الانطلاق عند ديكارت هي الأسباب الأولى لا الظواهر. فديكارت لا يقتصر على دراسة الظواهر كما فعل غاليليو، بل إنه لام هذا الأخير لكونه أغفل «الأسباب الأولى»، واهتم بالجزئيات وحدها. أما اللجوء إلى التجربة، فليس من أجل الاكتشاف، بل من أجل التحقق مما قرره العقل: **فإذا انطبق ما في العقل مع ما في التجربة كان ذلك دليلاً على صحة الاستنتاج. وهكذا فالنتائج مبرهن عليها بالمقدمات، وهي أسبابها، والمقدمات مبرهن عليها بالنتائج، نتائجها هي! ويجب أن لا نرى في هذا دوراً كما يقول المناطقة، لأن التجارب تؤكد صحة النتائج، وصحة النتائج تؤكد صحة المقدمات.**

يقول ديكارت: إن الفروض التي وضعها كمقدمات ليس من الممكن البرهنة عليها قبلياً، وإلا تطلب ذلك تقديماً فيزيائياً، كلها مرة واحدة. ولكن النتائج التي استخلصها من تلك الفروض، والتي لا يمكن استخلاصها من فرض آخر، تبرهن، بعديا، على تلك المقدمات، وأرجو أن يتأكد الجميع يوماً من صحة مقدماتي، مثلما يوافقون اليوم طاليس على رأيه القائل إن القمر يستمد ضوءه من الشمس، ففرضية طاليس هذه غير مبرهن عليها قبلياً، بل فسر بها ضوء القمر تفسيراً قبله الجميع. هكذا يجب أن ننظر إلى المقدمات التي وضعتها، لأن النتائج تؤكدها بواسطة التجربة.

ويضيف قائلاً: أما فيما يتعلق بتبرير المبادىء والأسباب التي وضعتها كمنطلق فيكفي أن تكون النتائج التي تلزم عنها شبيهة بما يحدث في الطبيعة. وليس من الضروري التأكد مما إذا كانت تصدر فعلاً عن هذه الأسباب نفسها أو عن سبب آخر خفي. على أنه يمكن الحصول على يقين معنوي بأن أشياء هذا العالم هي كما بيّنا. وذلك عندما يكون من الممكن مقارنة الفرضيات التي تفسر الظواهر بالقيم المختلفة التي تعطى للرموز الجبرية. فكما أن صحة هذه القيم تتوقف على مدى انسجامها مع تركيب المعادلة الرياضية، فكذلك الفروض العلمية تعتبر صحيحة عندما تكون منسجمة مع معادلة الطبيعة. وهناك يقين ثالث أقوى من اليقين الأول والثاني نحصل عليه عندما يتبين لنا أنه لا يمكن الحكم على شيء ما إلا بما حكمنا به عليه، ويتعلق الأمر هنا بما يبرهن عليه رياضياً.

وإذن، فإن الفرض الذي نقترحه لتفسير ظاهرة ما، يكون مقبولاً ومبرراً ـ في نظر ديكارت ـ في إحدى حالات ثلاث:

أ ـ عندما تكون النتائج التي نستخلصها منه بالاستنتاج مشابهة لتلك الظاهرة، حتى ولو كان هناك احتمال بأن عنصراً آخر خفياً هو السبب الحقيقي في حدوث الظاهرة.

ب ـ عندما تكون النتائج التي نستخلصها منه بالاستنتاج متسقة تماماً مع ما يحدث في الطبيعة، اتساق القيم التي تعطى للمجهول في المعادلة الرياضية مع باقي عناصرها.

ج ـ عندما يتبين لنا أنه لا يمكن تفسير الظاهرة بغير ما فسرناها به، وفي هذه الحالة نكون أمام يقين في مستوى اليقين الرياضي.

هكذا نجد أنفسنا أمام ثلاث درجات من اليقين العلمي: اليقين الناتج عن كون الفرض يفسر الظاهرة بشكل مقبول ومرض، واليقين الناتج من عدم تناقض الفرض الذي اقترحناه مع القوانين الأخرى، وأخيراً اليقين الناتج من كون الفرض نفسه يصبح قانوناً لا يمكن استبداله بغيره. وإذا ترجمنا هذا إلى اللغة الابيستيمولوجية المعاصرة أمكننا القول: إن «اليقين» الأول و«اليقين» الثاني هما في الحقيقة الشرطان الضروريان اللذان يجب أن يتوفرا في الفرضية العلمية، وهما: **التوافق، وعدم التناقض، التوافق مع معطيات الواقع التجريبي**، وعدم التناقض مع ما سبق اكتشافه من قوانين، أما اليقين الثالث **فهو القانون بمعنى الكلمة**.

* * *

تلك كانت، باختصار شديد، الخطوط العامة للمنهاج الفرضي ـ **الاستنتاجي** عند ديكارت وهو كما رأينا منهاج تختلط فيه الفلسفة بالعلم. والجانب **العلمي** فيه يخدم الجانب الفلسفي، مثلما جعل ديكارت «فيزياءه» خادمة «لميتافيزيقاه». ذلك أن البداهة التي جعلها أساس اليقين هي بداهة عقلية لا بداهة حسية. وبالتالي فإن الأساس «العلمي» الذي بنى عليه منهجه ميتافيزيقي لا تجريبي. وهو في هذا صريح كل الصراحة، يقول في رسالة وجهها إلى الأب مرسين في ١٥/٤/١٦٣٠: «ولن يفوتني أن أذكر في دراساتي الفيزيقية عدة مسائل ميتافيزيقية، وخاصة هذه المسألة: «إن الحقائق الرياضية، تلك التي تعتبرونها أبدية قد أنشأها الله، وهي متوقفة عليه توقفاً كلياً، مثلها مثل سائر المخلوقات، وأنا أناشدك أن لا تتردد في القول في كل مكان إن الله هو الذي أنشأ هذه القوانين في الطبيعة، كما ينشيء ملك القوانين في مملكته». أضف إلى ذلك أن «فيزياءه» لم تكن رياضية بالمفهوم الذي شرحناه قبل، عند حديثنا عن غاليليو، **فكل ما أعجبه في الرياضيات هو وضوحها العقلي، لا الصياغة الكمية لحوادث الطبيعة، إن الرياضيات عنده ليست أداة لليقين بل نموذج لليقين**. ومن هذه الناحية يمكن القول إن ديكارت كان متخلفاً كثيراً عن غاليليو وروحه العلمية ومنهاجه التجريبي. لقد كان أقرب إلى أفلاطون ـ في هذه النقطة ـ منه إلى أي عالم آخر كغاليليو أو هويغنز، ومع ذلك فيجب أن **لا** نقلل من **أهمية** تأثير ديكارت في عصره والعصور التالية. إن ديكارت هو أبو الفلسفة الحديثة دون منازع. ولقد كان تأثيره في الفكر الأوروبي في القرن السابع عشر والثامن عشر أقوى من تأثير أي مفكر أو عالم آخر. وإذا نحن نظرنا إلى تطور الفكر الأوروبي

من خلال التأثير الذي خلقه هذا العالم أو ذاك، أمكننا القول دون تردد: إن دور ديكارت في تقويض دعائم الفكر القديم وإرساء الفكر الأوروبي الحديث على أسس جديدة عقلانية كان أعظم خطراً، وأشد تأثيراً من الدور الذي لعبه غاليليو، مع اعترافنا بأن هذا الأخير كان أكثر جذرية وأسبق زمناً.

ثانياً: هويغنز والتقيد الصارم بمعطيات التجربة

على الرغم من أن هويغنز Huygens (١٦٢٩ - ١٦٩٥) تأثر بالديكارتية إلّا أنه حرص على السير على النهج الذي خطه غاليليو، منصرفاً عن الميتافيزيقا حاصراً اهتمامه في العلم. نحن هنا إذن، أمام عالم مارس البحث العلمي وبقي يعمل في إطاره. لقد أكمل هويغنز نظرية البندول Pendule (أو النواس) التي قال بها غاليليو، فدرس البندول المركب وتوصل إلى حساب القوى التي تتجاذب الجسم المعلق عليه، فمكنه ذلك من اختراع أول ساعة بندولية لضبط الوقت. ثم اكتشف مبدأ الزنبرك اللولبي مما مكّنه من صنع الساعات الجيدة والقيام باكتشافات علمية جديدة. وأكثر من ذلك أن حركات البندول ليست متساوية زمنياً في جميع أنحاء الكرة الأرضية فاستنتج من ذلك تفلطح سطح الأرض. هذا علاوة على نظريته الموجية في طبيعة الضوء التي سنتعرض لها خلال تحليلنا منهجيته العلمية.

يختلف هويغنز عن ديكارت اختلافاً أساسياً في المنطلق، فهو لم يكن يبني آراءه على مقدمات عقلية ضرورية اليقين كما كان يفعل صاحب «المقال في المنهج» بل على فروض علمية يستوحيها من الظواهر التي يدرسها ويجرب عليها، ثم يترك مسألة الصدق فيها معلقة بنتائج التجربة، مستعملاً هكذا، وبوعي، المنهاج الفرضي - الاستنتاجي في صورته العلمية، لا في مستوى البحث عن القوانين وحسب، بل وفي مستوى البحث عن أسباب وصياغة النظريات كذلك.

يرى هويغنز، وهو يعبر بهذا عن التصور العلمي المعاصر للمنهاج الفرضي الاستنتاجي، أن اليقين في ميدان العلوم الطبيعية غير اليقين في ميدان الهندسة. ذلك لأن علماء الهندسة ينطلقون في استنتاجاتهم من مقدمات ومبادىء يعتبرونها يقينية لا تقبل الاعتراض، في حين أن المقدمات أو المبادىء في العلوم الطبيعية هي مجرد فرضيات لا يتحقق صدقها إلّا عندما تتفق النتائج التي تستخلص منها مع معطيات التجربة. ويزداد هذا الصدق قوة حينما تمكننا الفرضية التي تأكدت بالتجربة من التنبؤ بظواهر جديدة تزيد في تزكيتها.

لقد أدرك هويغنز بوضوح أهمية الفرضية في البحث العلمي، فلم يتردد في اقتراح فرضيات كانت تبدو في وقته مخالفة للتصور العلمي السائد في عصره. ولكنه، في ذات الوقت، لم يكن يدعي لفرضياته الوضوح والبداهة، كما هو الشأن عند ديكارت، بل كان يعتبرها أفكاراً توحي بها ملابسات الظواهر المدروسة، تاركاً مسألة صحتها أو عدم صحتها للتجربة، وللتجربة وحدها.

انتقد هويغنز النزعة الوثوقية (الدوغماتية) عند ديكارت: فهو يرى أن النظرية الديكارتية التي تقول إن الضوء ينتقل في الامتداد على شكل حبات تتشكل منها الأشعة على صورة أعمدة ضاغطة تربط العين بمصدر الضوء، وتفسر انكساره بكونه أسرع في الوسط الكثيف منه في الوسط الخفيف تشبيهاً له بالكرة التي يكون ردّ فعلها أقوى عندما تصطدم بجسم صلب، منها عندما تصطدم بجسم رخو. . . إن هذه النظرية ـ يقول هويغنز ـ لا تستند على وقائع علمية، بل فقط على الاعتقاد بأنه من الممكن تفسير الظواهر الطبيعية وبيان حقيقتها بمجرد التأمل العقلي. إنه يعجب من أولئك الذين يسرعون في تفسير طبيعة الضوء، مع أنه لم يتبين بعد كيف أن الضوء ينتشر على خطوط مستقيمة، ولماذا. وكيف أن الأشعة الضوئية التي تصدر من جهات مختلفة لا يعوق بعضها بعضاً، فلا تصادم، وعلى الأقل لا تأثر في مسارها بهذا التصادم.

وعلى أساس من هذه الانتقادات التي وجهها هويغنز لنظرية ديكارت في تفسير طبيعة الضوء، حاول بناء نظرية خاصة به استوحاها من ملاحظة الظواهر الضوئية: فهو يسلم بأن الضوء هو، في حقيقته، عبارة عن حركة مادة ما. فكما أن النار تذيب بعض الأجسام مما يؤكد أنها هي نفسها عبارة عن أجسام تتحرك حركة سريعة جداً، الشيء الذي يمكننا من ذلك، فكذلك الأشعة الضوئية، هي عبارة عن مادة ما، لأن الأشعة التي تتجمع في مرآة مقعرة تكتسب خاصية الاحراق، أي أنها تعمل على فصل الأجزاء المادية التي يتكوّن منها الجسم المحترق، مما يثبت ماديتها. ثم يلاحظ هويغنز أن فعل الرؤية يقوم أساساً على كون حركة مادة ما تؤثر في أعصاب العين، الشيء الذي يؤكد أن الضوء ناتج من تأثير مادة موجودة بين العين الناظرة والجسم الذي يصدر منه الضوء (لاحظ تأثره هنا بديكارت الذي يرفض فكرة الخلاء). وبما أن الضوء ينبعث من جهات مختلفة، وبسرعة عظيمة، وبما أن الأشعة الضوئية لا يعوق بعضها بعضاً في حركتها هذه حتى ولو صدرت من جهات متعامدة، فإنه من الواضح أن الضوء لا يمكن أن يكون ـ والحالة هذه ـ عبارة عن انتقال مادة ما من الجسم إلى العين انتقالاً يشبه حركة الكرة أو حركة السهم الذي يخترق الفضاء. إن مثل هذا التصور لطبيعة الضوء يناقض الخاصيتين السابقتين، وبالخصوص الثانية منهما[٢].

من أجل ذلك كله يرى هويغنز أنه من الضروري البحث عن تفسير آخر لا يتناقض مع هذه الظواهر. ويقول في هذا الصدد: إن في طريقة انتشار الصوت في الهواء (وهو ينتشر على شكل موجات)، ما يوحي لنا بالتفسير المطلوب، وإذن، فالفرض الأكثر احتمالاً في نظر هويغنز هو القول بالطبيعة الموجية للضوء.

وهكذا نرى أنه ينتقد ديكارت انتقاداً علمياً، أي انتقاداً مستنداً على تحليل الظاهرة وإبراز الجوانب التي لا تتوافق فيها النظرية الديكارتية مع معطيات التجربة. وعلى الرغم من

---

(٢) انظر نصاً في الموضوع أورده بلانشي، في:

Robert Blanché, *La Méthode expérimentale de la philosophie de la physique*, collection U; 46 (Paris: Armand Colin, 1969).

أنه كان لديه من الوقائع ما يكفي لتبرير نظريته القائلة بأن الضوء عبارة عن موجات، إلاّ أنه اكتفى بإبراز التشابه القوي بين حركة الضوء وحركة الصوت وتموج الماء، معترفاً بالصعوبات التي تعترض هذه النظرية الجديدة، والتي لم يكن من الممكن التغلب عليها في عصره. وقد أثبتت الأبحاث التي أجريت من بعده بوقت طويل صحة نظريته، كما سنرى فيما بعد.

هذا وإذا كانت هذه المناقشة التي أتينا بها حول طبيعة الضوء، تكشف لنا عن حقيقة المنهاج الفرضي ـ الاستنتاجي: الانطلاق من فروض توحي بها معطيات التجربة لبناء نظرية بواسطة الاستنتاج، نظرية لا يمكن الأخذ بها كنظرية صحيحة إلاّ إذا أكدتها التجربة، فإنها، أي هذه المناقشة، تكشف لنا عن بعض خصائص النظرية الفيزيائية ذاتها.

إن النظرية الجديدة تقوم غالباً عندما تظهر في النظرية القديمة ثغرات تكذب بعض جوانبها أو ظواهر تعجز النظرية عن استيعابها. فنظرية ديكارت التي تفسّر طبيعة الضوء تفسيراً ذرياً وتعتبر الشعاع الضوئي عبارة عن عمود يمارس الضغط على العين لتحصل الرؤية، جزء من الفلسفة الديكارتية القائمة على تصوّر الكون على أنه امتداد. وفي نطاق هذه النظرية ـ المؤسسة على تصور ميتافيزيقي ـ أمكن تفسير بعض الظواهر الضوئية مثل الانعكاس والانكسار. . . والوصول إلى قوانين صحيحة (قوانين انكسار الضوء التي صاغها ديكارت)، على الرغم من فساد المقدمات التي تأسّست عليها النظرية تلك. وإذن فإن صحة النتائج لا تقوم دليلاً على صحة المقدمات.

وعندما ظهرت معطيات جديدة، لا تقبل التفسير في اطار النظرية الديكارتية تزعزعت هذه. إن ظاهرة واحدة معاكسة يمكن أن تهدم النظرية بأتمها. ولكن الفكر الديكارتي النزاع إلى التعميم لا يعير كثير اعتبار لـ «الحوادث النادرة»، فديكارت يصرح أنه رد الظواهر العامة إلى المبادىء الأولية، لتكون النظرية صحيحة، حتى ولو بقيت هناك حوادث جزئية لا تستوعبها النظرية. وهذا موقف غير علمي.

غير أن النظرية الجديدة التي توحي بها «الحوادث النادرة» لا تقبل كنظرية صحيحة إلاّ إذا نجحت في تفسير الظواهر التي نجحت النظرية القديمة في تفسيرها. وحتى لو استطاعت ذلك فإنه قد يحدث أن تظهر «حوادث نادرة» أخرى تعجز عن تفسيرها. . . الشيء الذي يستوجب قيام نظرية جديدة. . . وهكذا. وإذن، فالنظرية العلمية هي، بطبيعتها، نظرية مؤقتة، ومن هنا قامت، وتقوم، صيحات تطعن في المعرفة العلمية ذاتها، وفي مشروعية اعتبار القضايا العلمية حقائق يقينية، كما فعلت وتفعل النزعات المثالية والاتجاهات الوضعية. ولكن العلماء الواثقين بالعلم، الواعين بطبيعة المعرفة العلمية، كمعرفة تتطور وتنمو باستمرار، يردون على هذه الدعاوى قائلين: «إننا لا نعرف شيئاً عن الكون إلاّ من خلال القوانين، وإذن فلا شيء مما نعرفه يمكن أن يكذب القوانين».

هذه الملاحظات الأولية التي سجلناها هنا، ستغتني وتتوسّع في الفقرة التالية التي سنتحدث فيها عن فيزياء نيوتن ومنهاجه الفرضي ـ الاستنتاجي.

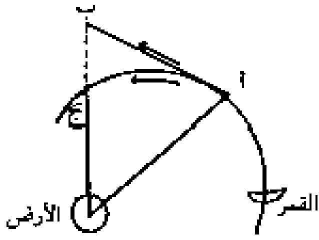
ثالثاً: نيوتن وعلم القرن الثامن عشر

لقد كان اسحق نيوتن Isaac Newton (١٦٤٣ ـ ١٧٢٧) أعظم شخصية علمية عرفها القرن الثامن عشر، بل أكبر شخصية عرفها العلم الكلاسيكي كله. لقد أرسى دعائم العلم الحديث موضوعاً ومنهاجاً، وفتح أمامه آفاقاً واسعة بفضل كشوفه العلمية المختلفة المتعددة: تحليل الضوء الأبيض، اكتشاف قوة الجذب، تفسير كثير من الظواهر الضوئية، صياغة النظرية الجسيمية في الضوء صياغة علمية، إلى جانب مساهماته في الميدان الرياضي (اكتشاف حساب التفاضل والتكامل). وإلى جانب ذلك كله استطاع نيوتن أن يحقق للفيزياء الكلاسيكية وحدتها في اطار تصور عام للكون منسجم ومتكامل مما جعل الكشوف العلمية اللاحقة، وإلى أواخر القرن التاسع عشر، تبقى، في معظمها، في دائرة العلم النيوتني الذي قامت عليه الحضارة الغربية الحديثة. ويمكن القول بصفة عامة إن الفكر العلمي بمختلف جوانبه ومنازعه ـ وكذا الفكر الفلسفي ـ قد بقي، طوال القرنين الماضيين، يتحرك داخل البنيان الذي شيّده نيوتن، وذلك إلى درجة أن الأفكار والنظريات العلمية التي ظهرت خلال المدة المذكورة، لم تكن تقبل، أو على الأقل لم يكن ينظر إليها بعين الارتياح والرضى، إلا إذا كانت مندرجة في النظام العام الذي أقامه صاحب نظرية الجاذبية.

مثل هذه الشخصية العظيمة لا بد أن تستثير فضول الخيال، ولا بد أن تنسج حولها بعض الحكايات والأساطير، منها الحكاية التالية:

في سنة ١٦٦٦، جلس نيوتن، وعمره آنذاك ٢٤ عاماً، تحت شجرة تفاح، وكان الوقت مساء، وبينما هو في شبه غفوة سقطت تفاحة من الشجرة، فرفع نيوتن بصره إلى أعلى مندهشاً، فرأى القمر يرسل أشعته من فوق الشجرة، فتساءل: لماذا لا يسقط القمر مثلما يسقط التفاح؟ من هنا كان منطلقه لنظريته في الجاذبية. وسواء كانت هذه الحكاية صحيحة أو كانت من نسيج الخيال، فلقد انكب نيوتن منذ سن مبكرة على دراسة حركات الأجرام السماوية مستفيداً من الأبحاث التي قام بها كبلر وغاليليو.

لماذا لا يسقط القمر مثلما سقطت التفاحة؟ لقد أوحى هذا التساؤل الفضولي لنيوتن ـ كما تقول الحكاية ـ بفرضية علمية حول فيها تلك الحادثة المألوفة من المجال الطبيعي الخام، إلى المجال الرياضي المجرد. ومؤدى هذه الفرضية كما يلي: إذا كان القمر لا يسقط، فذلك لأنه يبتعد عن الأرض في اتجاه المماس أ ب (انظر الشكل) وذلك بناء على المبدأ القائل: يبقى الجسم المتحرك على حركته المستقيمة ما لم يعترضه عائق، ولكن بما أن الأرض تجذب القمر إليها فإنه يتجه خلال حركته في اتجاه القوس أ ج، الشيء الذي يجعله يسير في اتجاه الأرض بمقدار ب ج.



هكذا اكتشف نيوتن الحقيقة التالية، وهي أن ظاهرة سقوط الأجسام مظهر من مظاهر الجاذبية. نعم، لقد كانت فكرة الجاذبية معروفة من قبل. وقد توصل أحد العلماء قبل نيوتن واسمه هوك Hock إلى القول إن قوة الجذب تتناقص بشكل يتناسب مع مربع المسافة. ومن المحتمل أن يكون نيوتن قد سمع بهذه الفكرة أو توصل إليها بنفسه، ولكن المهم ليس الفكرة في حد ذاتها، بل المهم ادخالها في نسق، أو جعلها أساساً لنسق جديد.

حاول نيوتن أن يصوغ هذه الفكرة على شكل قانون رياضي، ولكن محاولته هذه تعثرت أول الأمر لأنه وجد أن طول شعاع الأرض كما هو في معادلته أكبر مما كان معروفاً ومتداولاً. أضف إلى ذلك الصعوبة التالية، وهي أنه إذا كان السقوط ـ سقوط التفاحة ـ ينجم عن قوة الجذب التي للأرض، فليس واضحاً أن الأرض التي تجذب الأشياء إليها في مختلف نقاطها، تعمل ذلك وكأن كتلتها مركزة كلها حول مركزها. قضى نيوتن عدة سنوات في دراسة هذه المعضلة محاولاً صياغة الفكرة السابقة صياغة رياضية. وبما أن رياضيات عصره لم تكن تساعده على ايجاد الحل، إذ لا بد هنا من حساب التفاضل والتكامل، فقد توصل نيوتن إلى حل المشكلة بطرق حسابية أشبه ما تكون بتلك المتبعة في هذا الفرع الجديد من الرياضيات، وكان ذلك سنة ١٦٨٣.

وفي نفس السنة عكف نيوتن ـ وكان قد درس مؤلفات ديكارت العلمية واطلع على مؤلفات هويغنز وكشوف كبلر وغاليليو وغيرهم ـ على تأليف كتابه الخالد **المبادىء الرياضية للفلسفة الطبيعية**، وهو الكتاب الذي ألفه في مدة عامين (١٦٨٤ ـ ١٦٨٥) في جو من الانفعال والانشغال الفكري والاجتهاد المتواصل، مع نوع من «الاشراق الصوفي» كما يقول هو نفسه.

يتألف الكتاب المذكور من ثلاثة أجزاء، عرض في الجزءين الأول والثاني علم الميكانيك على شكل نظام فرضي استنتاجي جمع فيه أبحاث العلماء الذين سبقوه وأبحاثه الشخصية. وقد صاغ مجموع نتائج هذه الأبحاث صياغة أكسيومية مرتكزة على ثلاثة مبادىء أساسية، فجاء كتابه أشبه بكتاب **الأصول** لأوقليدس. وهكذا أسس نيوتن الميكانيكا العقلية، أي الميكانيكا التي تبنى على المنهج الفرضي الاستنتاجي.

أما المبادىء الثلاثة التي بنى عليها نيوتن ميكانيكاه هذه، فهي:

١ ـ يبقى الجسم ساكناً، أو يستمر في حركته على خط مستقيم وبسرعة ثابتة، ما لم يكن خاضعاً لتأثير قوة خارجية.

٢ ـ إذا تغيرت حركة جسم ما، فإن هذا التغير يكون متناسباً تناسباً طردياً مع القوة الخارجية، وتناسباً عكسياً مع كتلة الجسم، ويتم هذا التغير في اتجاه تلك القوة.

٣ ـ كل فعل يقابله رد فعل مساو له ومتجه في عكس اتجاه الفعل.

المبدأ الأول هو قانون العطالة، أما الثاني فهو قانون أساسي في الديناميكا ويعبر عنه بالعلاقة التالية: ق = ك. ع، حيث تدل «ق» على القوة و«ك» على الكتلة و«ع» على

الشارع، وفي ضوء هذه القوانين الثلاثة، واستناداً إلى القوانين التي قال بها كبلر صاغ نيوتن قانون الجاذبية الكونية كما يلي:

الجسمان ينجذبان، أحدهما إلى الآخر، انجذاباً متناسباً طرداً مع كتلتيهما، وعكساً مع مربع المسافة الفاصلة بين مركز جذب أحدهما ومركز جذب الآخر.

ذلك هو قانون الجذب العام الذي مكن من حل كثير من المشاكل العلمية وتفسير كثير من الظواهر الطبيعية مثل المد والجزر، وحركة الأجرام السماوية في مداراتها، وحركة المذنبات إلى غير ذلك من الظواهر، مما مكن نيوتن من تخصيص الجزء الثالث من كتابه لعرض نظريته في «نظام الكون»، وهو نظام طبق فيه القوانين التي توصل إليها في الجزءين الأول والثاني، على مجموعة المشاكل التي كانت تناقشها فلسفة الطبيعة، واضعاً حداً نهائياً للتفسيرات الميتافيزيقية والافتراضات التي لا تقوم على أساس من التجربة، مجتهداً في ارجاع مختلف ظواهر الطبيعة إلى مبدأين اثنين: **المادة والحركة**، فاكتسبت بذلك النزعة الميكانيكية سيطرة عامة في مختلف المجالات.

لقد ذهب نيوتن إلى أبعد مما فعل هويغنز في التأكيد على ضرورة استقاء الفروض العلمية من التجربة وحدها. فهو لم يكن يكتفي، كما كان يفعل ديكارت، باتساق النظرية مع الظواهر بشكل عام. بل كان يطلب من النظرية أن تساعد على حساب القيم العددية للظواهر الطبيعية بشكل دقيق ثم يلجأ إلى التجربة للتأكد مما إذا كانت الطبيعة تقدم لنا تلك الظواهر بنفس الدقة. كان يريد من النظرية ـ أو الفرضية ـ **أن تكون شاملة ودقيقة ومعبرة أقوى تعبير عن وقائع التجربة**. ولم يكن يتردد في تعليق الفرضية إذا ظهر أنها لا تتوافق مع معطيات التجربة توافقاً تاماً. وكما ذكرنا قبل. فلقد توقف في موضوع تفسير انجذاب القمر نحو الأرض عدة سنين عندما تبين له أن حساباته لم تكن تتوافق مائة في المائة مع ما كان معروفاً حول قياس شعاع الأرض. الشيء الذي لم يكن ليفعله ديكارت أو أي فيلسوف آخر يستحوذ عليه التعميم ويقلل من شأن الفروق البسيطة.

إن الفرق بينه وبين ديكارت، في مجال استعمال المنهاج الفرضي الاستنتاجي يمكن تلخيصه كما يلي: كان ديكارت يشترط ـ كما رأينا قبل ـ أن تكون «المبادىء» واضحة وضوحاً عقلياً، وأن تكون الأشياء الأخرى مستنتجة منها، بحيث يمكن معرفة الأولى (المبادىء) بدون الثانية (النتائج)، ولكن دون أن يكون في الإمكان معرفة الثانية بدون الأولى. أما نيوتن فهو يلح على ضرورة عدم افتراض أي شيء قبل البرهنة عليه والتأكد منه بالتجربة. فهو لم يكن يقبل بالفرضية إلا بعد أن تصبح حقيقة علمية. كان يقول: **«أنا لا أفترض، بل أبرهن»**. وعلى هذا الأساس كان يميز بين الاستقراء بوصفه أداة للتعميم والاستنتاج بوصفه الوسيلة التي تمكن من اقرار النتائج الصحيحة، بل إنه ذهب إلى أبعد من هذا، وقال، على عكس العرف السائد: **«إني أستنتج الأسباب من النتائج»**.

وكما وضع ديكارت قواعد أربع لهداية العقل، وهي قواعد معروفة مبنية على فكرة

البداهة والحدس، وضع نيوتن أربع قواعد «يجب اتباعها في البحث في الفلسفة» (وهو يقصد الفلسفة الطبيعية أي الفيزياء). وهذه القواعد هي:

١ - «يجب أن لا نقبل من الأسباب إلّا تلك التي تبدو ضرورية لتفسير الطبيعة. فالطبيعة لا تتصرف عبثاً. وسيكون مما لا فائدة فيه الأخذ بعدد كبير من الأسباب عند تفسير ما يمكن تفسيره بأقل عدد منها».

٢ - «إن النتائج التي هي من نفس النوع يجب أن تعزى دوماً وكلما كان ذلك ممكناً، لنفس السبب، وهكذا فتنفس الانسان وتنفس الحيوان، وسقوط الحجر في أوروبا وسقوطه في أمريكا، وضوء النار هنا على الأرض والضوء المنبعث من الشمس، وانعكاس الضوء على الأرض وانعكاسه على الكواكب، كل ذلك يجب أن يعزى، بالتتابع، إلى نفس الأسباب».

٣ - «إن الكيفيات التي تتصف بها الأشياء، والتي لا تقبل الزيادة ولا النقصان، والتي نلاحظها في جميع الأجسام التي يمكننا التجريب عليها، يجب أن ينظر إليها بوصفها كيفيات تعم جميع الأجسام على الجملة. إن خصائص الأجسام وكيفياتها لا تعرف إلّا بالتجربة، ويجب أن ننظر إلى الكيفيات التي توجد في جميع الأجسام والتي لا تقبل النقصان، ككيفيات عامة، لأنه من المستحيل تعرية الأجسام عن الخصائص التي لا يمكن الانقاص منها. يجب ان لا نعارض التجارب بالأحلام، وأن لا نتخلى عن المماثلة والمقايسة في الطبيعة، فهي بسيطة ومماثلة لنفسها دوماً...».

٤ - «في الفلسفة التجريبية، أي الفيزياء، يجب النظر إلى القضايا المستخلصة من الظواهر، على الرغم من الفرضيات المضادة، كقضايا صحيحة تماماً، أو قريبة من الصحة، إلى أن تؤكدها بعض الظواهر الأخرى تأكيداً تاماً، أو تكشف عن كونها موضوع استثناءات».

إن إلحاح نيوتن على عدم المجازفة بأية فرضية إلّا إذا أيدتها التجربة سلفاً، جعله أقرب ما يكون إلى الوضعيين الذين كثيراً ما صرحوا بانتمائه إليهم، بل إن أوغست كونت كان يتخذ من قانون الجاذبية الذي قال به نيوتن، نموذجاً لما يجب أن يكون عليه التفكير الموضعي، هذا من جهة، ومن جهة أخرى، فإن ايمانه الأكيد بأن قوانينه تستخلص من الظواهر، ومنها وحدها، قد جعله يثق فيها ثقة مطلقة ويعرضها كقوانين تفرض نفسها على العقل. وتلك نزعة وثوقية (دوغماتية) مغالية مخالفة للروح العلمية.

مع ذلك، بل لربما بسبب من ذلك، تعرضت كثير من المبادىء والأفكار التي بنى عليها فلسفته الطبيعية لاعتراضات كثيرة، مما أثار مناقشات واسعة عريضة بينه وبين أنصاره من جهة، وبين خصومه ومخالفيه في الرأي من جهة ثانية. ولعل أكثر «المبادىء» النيوتينية التي دار حولها نقاش كبير وحاد، فكرة الجذب ذاتها، وفكرة الزمان المطلق والمكان المطلق.

لقد عارض الديكارتيون نظرية الجاذبية، لان فكرة الجذب، أي التأثير عن بعد، وبدون واسطة، فكرة غير واضحة بذاتها، فهي لا تتصف بالمعقولية - في نظرهم - ولذلك

رفضوا اتخاذها مقدمة للاستدلال. أما نيوتن وأنصاره فقد كانوا يقولون، سواء كانت هذه الفكرة واضحة بذاتها أم لا، سواء كانت بديهية أم لم تكن، فإن مبدأ الجاذبية يفرض نفسه علمياً، لأن حقيقته وصدقه تؤكدهما التجربة. والواقع أن الديكارتيين لم يكونوا يرفضون فكرة الجذب، أي التأثير عن بعد، التي كانوا يشبهونها بالأفكار السحرية، لكونها لم تكن فكرة واضحة كما كانوا يقولون، بل لأنها فكرة مبنية على القول بوجود الفراغ. وبالتالي فهي لا تنسجم مع الميكانيكا الديكارتية المبنية على فكرة الامتداد.

وعلى الرغم من أن نيوتن يتمسك بفكرة الجذب كمعطى تجريبي، فإنه لم يتردد في اقتحام الميتافيزيقا في تفسير طبيعة الجاذبية نفسها، وهنا يبدو الوجه الآخر من شخصية نيوتن: كان من بين المسائل التي دار النقاش حولها يومئذ بسبب نظرية الجاذبية، مسألة ما إذا كان الجذب خاصية ذاتية للمادة مثل الامتداد والحركة والصلابة أم أنها شيء خارج عن صفاتها الأساسية هذه. والرأي الذي أدلى به نيوتن، متساوقاً مع هذا الطرح الميتافيزيقي للمسألة، هو أن الجاذبية ليست صفة ذاتية ولا ضرورية للمادة. فهو يرى أن الله عندما خلق المادة، خلقها مع صفاتها الأساسية (الامتداد والحركة) الشيء الذي نتج عنه عالم يسير سيراً ميكانيكياً بالشكل الذي قال به ديكارت. لكن ـ يقول نيوتن ـ لكي يكون العالم كما هو عليه فعلاً، أضاف الله إلى هذه الطبيعة الميكانيكية للعالم، خاصة جديدة، بموجبها تتجاذب الأشياء إلى بعضها. وهكذا يكون العالم خاضعاً لقوتين: قوة القصور الذاتي التي هي ملازمة للمادة وكامنة فيها، وقوة الجذب وهي خارجة عنها. يقول نيوتن: «إن القول بأن الجاذبية خاصة ملازمة للمادة وضرورية لها، بحيث يمكن لجسم ما أن يؤثر في جسم آخر عن بعد، وفي الفراغ، وبدون توسط جسم ثالث ينقل التأثير إليه، قول ينطوي في نظري على سخافة هي من الوضوح بحيث لا يمكن أن يقع فيها من كانت له القدرة على البحث الفلسفي (أي البحث في فلسفة الطبيعة = الفيزياء). إن الجاذبية يجب أن يكون سببها فاعل يمارس فعله دائماً حسب بعض القوانين. وأنا أترك للقراء أن يقرروا فيما إذا كان هذا الكائن مادياً أو غير مادي»[٣].

وعلى الرغم من أن كلام نيوتن هنا يوحي بأنه محايد في هذه المسألة أو أنه مادي يخفي ماديته، فإن الحقيقة هي بالعكس من ذلك تماماً: فلقد تصور نيوتن المادة والحركة منفصلتين. الحركة عنده حركة خارجية فقط. ولذلك، فعندما فسر الحالة الراهنة للعالم بالجاذبية (حركة الكواكب والنجوم ناتجة من جاذبية الشمس) اعترضه سؤال أساسي، وهو: «كيف وضعت هذه الأجرام في أماكنها ابان بدء حركتها؟». وهنا لم يتردد في اللجوء إلى فرضية ميتافيزيقية قيل بها من قبل، وهي «الدفعة الأولى».

هذا من جهة، ومن جهة أخرى سمح نيوتن لنفسه، على الرغم من تقيده الصارم

---

(٣) وانظر نصوصاً لنيوتن في: Isaac Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, traduction de Mme du Châtelet ([s.l.: s.n., s.d.]), Blanché, Ibid.

بالتجربة، بافتراض وجود مادة لطيفة، هي الأثير، تخترق جميع الأجسام وتنساب فيها. ثم زعم أنه بواسطة تأثير هذه المادة اللطيفة تنجذب جسيمات الأجسام بعضها إلى بعض في المسافات القصيرة جداً، فتتماسك تلك الجسيمات عندما تكون متشابهة وتشكل الأجسام المادية المعروفة. ثم إنه بواسطة هذا الأثير تؤثر الأجسام الكهربائية عندما تكون بعيدة، سواء في حالة الجذب أو في حالة النبذ. وبواسطته أيضاً ينتشر الضوء وينعكس وينكسر، وتسخن الأجسام، وتنتبه الأعضاء والحواس، وينتقل الاحساس إلى الدماغ.. الشيء الذي يجعل هذا الأثير أشبه ما يكون بمادة سحرية.

وأكثر من ذلك، وأهم منه، أن نيوتن أسس فكرته عن الزمان المطلق والمكان المطلق والحركة المطلقة على فرضية الأثير هذه. فلقد تصور أن الكون يسبح في فضاء محيط هو عبارة عن بحر من الأثير، فضاء ساكن سكوناً أبدياً. فاعتبره المكان المطلق، واعتبر حركات الأجسام بالنسبة إلى هذا المكان المطلق، حركات مطلقة، الشيء الذي يؤدي إلى القول بوجود زمان مطلق كذلك (انظر في قسم النصوص آراء نيوتن في هذا الموضوع).

* * *

هكذا يمكن القول اجمالاً إن فيزياء نيوتن هي كفيزياء ديكارت، ذات بطانة ميتافيزيقية لاهوتية. ولكنها تمتاز عنها بنزعتها الوضعية التي أشرنا إليها، ذلك لأن **فيزياء نيوتن تفرض نفسها علينا ـ كما يقول بلانشي ـ كحقيقة علمية وبإمكاننا أن نرفض القيام بالخطوة الأخيرة (أي الانتقال إلى الميتافيزيقا)، والقول بـ «الدفعة الأولى»، و «بحر الأثير الساكن». أما فيزياء ديكارت فهي تفرض علينا منذ البداية ما انتهى إليه نيوتن، أي التسليم بأساسها الميتافيزيقي.**

لقد انطلق ديكارت من وجود الله ليثبت وجود العالم ويؤكد صحة قوانينه، أما نيوتن فقد فعل العكس: انطلق من العالم وقوانينه ليصل إلى الله.

ومهما يكن من هذا الجانب اللاهوتي الميتافيزيقي في تفكير نيوتن، وهو جانب رافق العلم الحديث منذ نشأته، ولا زالت آثاره تظهر من حين لآخر، لدى هذا العالم أو ذاك، فإن الواقع التاريخي يؤكد أن نيوتن قد أرسى العلم الحديث على قوانين عامة مكّنت من فرض هيمنة العلم على مختلف المجالات، حتى الدينية منها، مما كانت نتيجته تلك النزعة الوثوقية التي عرفها العلم في أواخر القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر، والتي حملت كثيراً من العلماء والفلاسفة على الاعتقاد بأنه في مستطاع العلم تفسير جميع الظواهر باختلاف أنواعها، ما كبر منها وما صغر، ما ظهر منها وما خفي، فكانت نزعة علموية Scientisme رفعت العلم النيوتني إلى أسمى الدرجات، وأقامت على أساسه فلسفات «علمية» حاولت أن تفلسف مختلف جوانب الكون والحياة حتى العلم ذاته، كما سنرى في الفصل التالي.

الفصل الثالث

بين الوقوف عند القوانين والبحث عن الأسباب

(دالامبير، أوغست كونت، ويل، كلود بيرنار)

لقد تبيّن لنا من خلال المناقشات التي عرضنا لجوانب منها في الفصل السابق، والتي دارت بين أتباع الديكارتية من جهة، ونيوتن وأنصاره من جهة ثانية، أن محور الخلاف بين الفريقين كان يدور حول الفرضيات: طبيعتها، ومصدرها ودورها. هل نعتمد فيها على العقل «والبداهة العقلية»، وبالتالي نعتبرها مقدمات يقينية ـ مع ما يلزم عن ذلك من نتائج، أم انه يجب أن نستوحيها من التجربة، والتجربة وحدها؟

إن هذا النقاش يعكس في الحقيقة وجهتي نظر متعارضتين ـ رافقتا تاريخ العلم الحديث منذ نشأته ـ حول دور الفكر في البحث العلمي ومدى قدرة الانسان على تفسير ظواهر الطبيعة تفسيراً يتسق، على الأقل، مع معطيات الواقع، إن لم يعبر عن حقيقته و «جوهره». وجهة النظر الأولى تنتمي بشكل أو بآخر إلى الديكارتية، فهي اتجاه عقلاني يعطي الأولوية للعقل في عملية المعرفة. أما وجهة النظر الثانية فهي امتداد للنزعة النيوتونية التجريبية تمنح الأولوية للتجربة وتحصر دور العقل في التحليل والتركيب. الاتجاه الأول يرى أن الهدف الحقيقي للعلم هو الوصول إلى الأسباب التي تفسّر الظواهر الطبيعية. أما الاتجاه الثاني فيلحّ على ضرورة وقوف البحث العلمي عند حد الكشف عن العلاقات التي تربط الظواهر، أي القوانين، معتبراً الجري وراء الأسباب من بقايا التفكير الميتافيزيقي.

وإذا كانت النزعة النيوتونية قد شكّلت بالنسبة إلى عصرها مرحلة تقدمية[1] بالقياس إلى النزعة الفلسفية عموماً، من حيث إنها كانت ترغب في تخليص العلم من المفاهيم

---

(١) يمكن النظر إلى النزعة النيوتونية والاتجاهات التجريبية التي رافقتها أو ارتكزت عليها من حيث إنها شكل من أشكال التعبير الايديولوجي عن موقف البرجوازية الأوروبية آنذاك في صراعها مع الفكر الاقطاعي وسلطاته الغيبية. إن التمسك بالتجربة وجعلها كان هدفه رفض الأسس اللاعقلانية التي كانت الايديولوجيا الاقطاعية ترتكز عليها.

والتصورات الميتافيزيقية، فإنها تحولت، فيما بعد، لتشكل أساساً «علمياً» لاتجاهات ميكانيكية متطرفة، وأخرى وضعية حاولت «تقنين» البحث العلمي وإقامة حواجز أمامه «لا يجوز» تخطيها، حاصرة مجال المعرفة البشرية في الظواهر والعلاقات التي تقوم بينها.

لقد سادت هذه النزعة التجريبية ـ الوضعية في النصف الثاني من القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر، فشنتها حملة شعواء على الأنساق الفلسفية والفروض الميتافيزيقية. لكن هذا لا يعني أن النزعة العقلانية الديكارتية قد صفيت تماماً، في ذلك الوقت، بل لقد بقيت تدافع عن نفسها، خاصة في فرنسا حيث ظهرت اتجاهات عقلانية تقاوم النزعة التجريبية الانكليزية في مجالات العلم والفلسفة. وهكذا شهد النصف الثاني من القرن الثامن عشر ما عرف بـ «الميكانيكا العقلية» (أو النظرية) Mécanique rationnelle التي حمل لواءها العالم والفيلسوف الفرنسي جان دالامبير، كما سطع في نفس الفترة نجم لابلاس الذي حاول من جهته اضفاء مزيد من الاتساق والكمال على النظام الكوني الذي شيّده نيوتن، ومسلهماً في ذلك رحابة الفكر الديكارتي». أما في القرن التاسع عشر فلقد كانت السيطرة في فرنسا لوضعية أوغست كونت. غير أن النصف الثاني منه شهد قيام اتجاه ابستيمولوجي جديد، في فرنسا وانكلترا معاً، يعلي من شأن الفرضية، ويبرز دور العقل وقدرته على تفسير الظواهر وبيان أسبابها، ناظراً إلى عملية المعرفة نظرة جدلية قوامها حوار بين الفكر والواقع لا ينقطع ولا يقف عند حد معين. ولقد كان العالم الانكليزي وويل، والعالم الفرنسي كلود بيرنار، كلاً على حدة، من المؤسسين الأوائل لهذا الاتجاه الجديد التي تعتبر الابستيمولوجيا المعاصرة امتداداً له. وسنحاول في هذا الفصل أن نلم بشيء من التفصيل بالأفكار الرئيسية التي روجتها هذه الاتجاهات الفلسفية في ميدان العلم، سواء على صعيد المنهاج، أو على صعيد النظرية.

أولاً: دالامبير والميكانيكا العقلية

حاول دالامبير Jean d'Alembert (١٧١٧ ـ ١٧٨٣) أن يجد لكل من النزعة الديكارتية والنزعة النيوتونية مكانها الخاص في العلم، ففصل بين الفيزياء بوصفها علماً تجريبياً يجب أن يسير فيه العمل على نهج نيوتن، وبين الميكانيكا بوصفها علماً عقلياً، كالهندسة، يجب أن يبنى على مبادىء عقلية ضرورية، أي على الأفكار الواضحة المتميزة التي تفرض نفسها على العقل، كما يقول ديكارت، ولكن دون اللجوء إلى الفرضيات الميتافيزيقية.

يرى دالامبير أن هدف البحث العلمي هو الكشف عن العلاقات التي تربط بين الظواهر التي هي موضوع احساساتنا. وعليه فإن معرفة الطبيعة لا تأتي بالفرضيات «الجدباء» التي يدلى بها بشكل اعتباطي تعسفي، بل بدراسة ظواهر الطبيعة دراسة عميقة مع مقارنة بعضها ببعض قصد ارجاعها إلى أقل عدد ممكن من المبادىء. فالمبادىء، عندما تكون قليلة العدد، تكون أكثر عمومية. وبعبارة أخرى: **كلما قللنا من عدد المبادىء التي يقوم عليها علم ما، كان مجال تطبيقها أوسع**. ذلك هو السبيل الذي يمكننا من تشييد صرح المعرفة

العلمية وصياغتها في أنساق علمية أكثر جدوى وأكثر مطابقة للواقع من الأنساق الفلسفية الميتافيزيقية. وإذا كانت هذه الأخيرة قد سادت من قبل، هي والفرضيات التخمينية التي كانت أساساً لها، فلأنها كانت ضرورية ومفيدة في وقت لم يكن المطلوب فيه أن يفكر الناس بكيفية أفضل، بل فقط أن يفكروا بحرية، بعيداً عن الاتباع والتقليد[1].

على أساس هذه الفكرة حاول دالامبير أن يشيد ميكانيكا عقلية برهانية اعتمد فيها على ثلاثة مبادىء، هي:

١ ـ **قانون العطالة** وهو يدرس الحركة المنتظمة المستقيمة، وأنواع العوائق التي تحول دونها ودون الانتظام والاستقامة، مثل القوى الجاذبة والقوى النابذة.

٢ ـ **قانون تركيب القوى** وهو يدرس الحركة غير المنتظمة وغير المستقيمة، أي القوى التي تغير من انتظام الحركة واتجاهها.

٣ ـ **قانون التوازن الحركي للأجسام**، وهو يرجع في شكله البسيط إلى تساوي كتل الأجسام مع سرعتها.

ويرى دالامبير أن هذه المبادىء ترجع إلى «فكرة بسيطة واضحة وضوحاً عقلياً». وهي أن حركة جسم ما ترجع في نهاية التحليل إلى كونه يقطع مسافة معينة في زمن معين. ولذلك كانت قوانين الحركة تدور دوماً حول موضوع واحد، هو العلاقة بين المسافة والزمن. وعلى هذا الأساس صاغ دالامبير ميكانيكا عصره صياغة أكسيومية مبرهناً على أن الميكانيكا علم عقلي برهاني يقوم على مبادىء عقلية ضرورية.

كانت أكاديمية برلين قد طرحت على العلماء والفلاسفة سؤالاً حول ما إذا كانت مبادىء الميكانيكا حقائق ممكنة أم حقائق ضرورية. وقد أجاب دالامبير عن هذا السؤال مبتدئاً بالفصل في الجانب الميتافيزيقي اللاهوتي من السؤال وهو الجانب الذي صاغه كما يلي: هل حركة المادة من صنع الله (وإذن فهي ممكنة، الإمكان هنا عكس الضرورة) أم أنها من نتاج قوانين الطبيعة نفسها (وبالتالي فهي ضرورية)؟ يرى دالامبير أنه يجب أن لا يفهم من هذا السؤال أن خالق الطبيعة يمكنه أن يجعل حركة الطبيعة على غير ما هي عليه، فتلك مسألة بديهية تلزم عن تسليمنا بوجود الخالق. فكما أن الانسان يستطيع أن يغير أو يعدل حركات أعضاء جسمه فكذلك خالق الطبيعة يستطيع أن يجعل حركات الأشياء فيها على غير ما هي عليه. إن الطرح العلمي للمسألة يجب أن يكون كما يلي: هل تختلف قوانين الحركة والتوازن الحركي التي نشاهدها في الطبيعة عن تلك التي تتحرك المادة وفقه إذا تركت لنفسها؟

إن وضع السؤال بهذا الشكل يجنب الباحث الانشغال بالأمور الميتافيزيقية، ويدفعه إلى

---

(٢) يسجل دالامبير هنا مرحلة من تطور ايديولوجيا البرجوازية الغربية. لقد تمت تصفية الحساب مع الفكر الاقطاعي، ولذلك لم يعد من الضروري اشاعة الحرية بلا قيد، إن المرحلة الجديدة التي يعبّر عنها دالامبير هنا هي مرحلة فرض الايديولوجيا البرجوازية على المجتمع كله، كايديولوجيا واحدة مقننة تتمتع «بالتماسك الداخلي». ولكن أنّى لها بهذا التماسك وهي تضطر دوماً إلى تعديل نفسها تحت ضغط التطور.

الكشف أولاً، وبواسطة عقله، عن القوانين التي تسير المادة بمقتضاها، عندما تترك وحدها، ثم إلى البحث ثانياً، وبواسطة التجربة، عن القوانين التي تسير وفقها فعلاً حركات الأجسام في الطبيعة. فإذا وجد الباحث أن حركة المادة التي يتم له الكشف عنها بواسطة عقله تختلف عن قوانين العالم التجريبي التي يستخلصها بواسطة التجربة، استنتج أن قوانين الميكانيكا كما تقدمها لنا الطبيعة قوانين ممكنة، أي أنها عبارة عن ارادة الخالق الحرة. أما إذا وجد أن قوانين التجربة تتفق تماماً مع قوانين العقل فعليه أن يستنتج أن قوانين الميكانيكا قوانين ضرورة، غير أن هذا ليس معناه أن الخالق لا يستطيع أن ينشيء قوانين مخالفة، بل كل ما هناك أن الخالق لم ير ضرورة في خلق قوانين أخرى غير تلك التي تنتج من وجود المادة نفسها. ويبرهن دالامبير عن أن وجود المادة يقتضي وجود القوانين الثلاثة المذكورة التي بنى عليها صرح ميكانيكاه العقلية، وأن التجربة تبين أن العالم تحكمه هذه القوانين نفسها، ومن ثمة ينتهي إلى القول بأن قوانين الميكانيكا قوانين ضرورية. أما عن الاعتراض القائل: إن حكمة الخالق قد اقتضت أن لا يخلق قوانين أخرى غير تلك التي تسير الطبيعة وفقها فعلاً، فإن دالامبير لا يقدم جواباً بل يكتفي بالقول: إن العقل البشري لا يدرك طبيعة الخالق كما هي بالضبط، وبالتالي فإنه لا يستطيع أن يتعرف على حكمته»[3].

يمكن أن نربط المناقشة السابقة بقضية السببية بوجه عام، وبفكرة الحتمية الكونية بوجه خاص، تلك الفكرة التي نادى بها لابلاس Laplace (١٧٤٩ ـ ١٨٢٧) وشرحها في كتابه: **الميكانيكا السماوية** الذي حاول فيه اضفاء مزيد من الاتساق والكمال على النظام الكوني الذي صاغه نيوتن. يرى لابلاس أن الكون خاضع لحتمية عامة، وان بإمكان الانسان إذا عرف سلسلة الأسباب التي تحرك الكون، أن يتنبأ بما سيحدث في كل مجال من مجالاته الرحبة، بل بوسعه أيضاً أن يتعرف على جميع الحوادث، والتطورات التي رافقته منذ نشأته. إن المبدأ الذي ينطلق منه لابلاس هو التالي: **لا شيء إلا وله سبب متقدم عليه**، والإرادة الحرّة التي توجه الأحداث لا بد أن يكون وراءها سبب، وإلا تكافأت الدوافع وبطلت الحركة. إن **حالة العالم اليوم هي نتيجة لحالته سابقاً، وسبب لحالته مستقبلاً، فلا مكان لمبدأ متعال نرجع إليه الحركة في العالم**. كان لابلاس يقول: «أنا لست في حاجة إلى افتراض الله»، فقوانين الحركة تكفي لتفسير العالم كما هو، وكما كان، وكما سيكون»[4].

ثانياً: أوغست كونت والفلسفة الوضعية

لم يكن أوغست كونت Auguste Comte (١٧٩٨ ـ ١٨٥٧) عالماً تجريبياً، وإنما كان فيلسوفاً ومفكراً اجتماعياً عاش في عصر سادت فيه النزعة العلموية الوثوقية التي أشرنا إليها

---

(٣) انظر نصوصاً لدالامبير في هذا الموضوع، في:

Robert Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, collection U$_2$; 46 (Paris: Armand Colin, 1969).

(٤) انظر في قسم النصوص نصاً للابلاس حول الموضوع.

قبل، فاستمد منها فلسفته الوضعية التي حاول أن يبرهن فيها على أن المرحلة العلمية التي وصلها الفكر البشري في عصره هي أعلى المراحل وقمة التطور.

استعرض أوغست كونت المراحل التي اجتازها الفكر البشري ـ في نظره ـ منذ صوره البدائية الأولى إلى الحالة الراهنة (في عصره)، فصاغ ما اعتقد أنه يشكل القانون العام لتطوره، محاولاً البرهنة على صحة هذا القانون من أوجه مختلفة كما سترى بعد قليل.

ينص «القانون العام لتطور الفكر البشري» الذي صاغه، أوغست كونت على أن جميع تصورات بني البشر وجميع فروع معارفهم تمرّ عبر ثلاث حالات نظرية مختلفة، هي: الحالة اللاهوتية (أو الأسطورية، الخيالية)، والحالة الميتافيزيقية (أو المجردة) والحالة الوضعية (أو العلمية). وبعبارة أخرى يرى أوغست كونت أن الفكر البشري يستعمل بطبيعته، في كل ما يعرض له، وفي كل بحث يقوم به، طرقاً متتابعة ثلاث، تختلف فيما بينها وتتعارض على الرغم من أن السابق منها يؤدي إلى اللاحق ضرورة. ومن هنا ثلاثة أنواع من الرؤى التي تتناول الظواهر، ينفي كل منها الأخرى: الأولى تشكل نقطة انطلاق الفكر البشري، والثالثة تشكل نهايته ومبتغاه، وأما الثانية (أو الوسطى) فهي مرحلة انتقالية.

ـ في الحالة اللاهوتية يلجأ الفكر البشري إلى البحث عن طبائع الأشياء، عن أسبابها الفاعلة وأسبابها الغائية، ناشداً المعرفة المطلقة، متصوراً الظواهر على أنها نتاج فعل مباشر ومتواصل تقوم به كائنات عليا، فوق ـ طبيعية، يكثر عددها أو يقل، هي المرجع الأخير في كل ما يحدث في العالم من تغيرات وتقلبات. لقد بلغت هذه المرحلة اللاهوتية أوجها عندما أحلت مكان الآلهة المتعددة إلهاً واحداً: فبالانتقال تدريجياً من الفيتيشية وعبادة الأصنام، إلى تعدد الآلهة، إلى عبادة إله واحد، أخذت الآلهة تبتعد عن الظواهر الطبيعية لتتحول إلى آلهة مجردة، ثم اهتدت الانسانية بعد ذلك إلى الاعتقاد بإله واحد، فتحررت الطبيعة مما حيك حولها من الأساطير وأصبحت قابلة للدراسة العلمية، وغدا القول بقوانين طبيعية مقبولاً، كما هو الشأن في الحالة الوضعية. وفي هذا الإطار شهدت القرون الوسطى محاولات للتوفيق بين ثبات القوانين وفكرة الله. غير أن هذه المحاولات كانت فاشلة، وما كان لها إلاّ أن تفشل، لأن الفكر الوضعي الذي عمل على تقدم الفكر اللاهوتي هو في ذات الوقت خصم له ونقيض، فكان لا بد أن يختفي الفكر اللاهوتي كلية ويحل محله الفكر الوضعي. ولكن اختفاء الفكر اللاهوتي اختفاء تاماً لا يتم بشن معركة عليه، بل بظهور عجزه وعدم صلاحيته، لأن العقائد لا تختفي إلاّ عندما تصبح غير صالحة.

ـ أما في الحالة اللاهوتية التي ليست في حقيقة أمرها سوى تعديل للحالة الأولى، فإن الكائنات العليا تعوض بقوى مجردة أي بـ «الخصائص الملازمة للأشياء» التي يعتقد في قدرتها على تفسير جميع الظواهر. وهكذا أصبح تفسير الطبيعة ميسوراً، إذ يكفي أن تنسب إلى الظواهر، أو الأشياء خصائص أو طبائع ذاتية. وقد تطورت الحالة الميتافيزيقية بدورها من مرحلة التعدد، تعدد الخصائص والمفاهيم، إلى مرحلة الوحدة، وحدة الطبيعة بوصفها مظهراً لجميع الظواهر.

ـ وأما الحالة الوضعية، وهي آخر مراحل التطور، في نظر أوغست كونت، فهي المرحلة التي اقتنع فيها الفكر البشري باستحالة الوصول إلى معارف مطلقة، وبضرورة التخلي عن البحث عن الأسباب الخفية الكامنة وراء الظواهر، والانصراف إلى البحث عن القوانين فقط، بواسطة الملاحظة والاستدلال. والمقصود بالقوانين، تلك العلاقات اللامتغيرة الضرورية التي تقوم بين الظواهر المتشابهة والحوادث المتتابعة. إن تفسير الظواهر يصبح مقصوراً، إذن، على الكشف عن الرواية التي تربط بين الحوادث الجزئية وبعض الحوادث العامة، بإرجاع بعضها إلى بعض، الشيء الذي يجعل التفكير الوضعي يتجه هو الآخر من التعدد إلى الوحدة، من كثرة القوانين إلى قانون عام واحد، تفسر به جميع الظواهر، كقانون الجاذبية مثلاً.

هذه الحالات الثلاث طبيعية تماماً، في نظر صاحبنا، وهو يبرهن على صحتها عقلياً واجتماعياً وتاريخياً. فمن الناحية العقلية ـ السيكولوجية يرى أن الفلسفة اللاهوتية كانت ضرورية لتفسير الطبيعة في المرحلة الابتدائية من تطور الفكر البشري لأنها مرحلة «طبيعية» أكثر من غيرها، فهي لا تفترض أية مرحلة سابقة عليها. وهذا واضح لأنها تقوم على فهم الظواهر بوصفها ناتجة من ارادة مشابهة للإرادة الانسانية. والانسان يشعر، قبل كل شيء بقواه الجسمية ويقيس عليها الحوادث الطبيعية وغير الطبيعية. وإذن، فلقد كانت هذه المرحلة ضرورية لحمل الانسان على مواجهة العالم وإيقاظ قواه العقلية للسيطرة على الطبيعة.

أما من الناحية الاجتماعية، فإن أوغست كونت يبرهن على معقولية الحالة اللاهوتية كما يلي: انه كان لا بد من وجود مجموعة من المعتقدات المشتركة بين الناس حتى يتأتى قيام جماعات بشرية منظمة. ولقد قدم الفكر اللاهوتي هذه المعتقدات المشتركة الضرورية لتوحيد الجماعات. كما عمل على إفراز طبقة كهنوتية انصرفت إلى البحث النظري، مما كانت نتيجته نشأة العلم والفلسفة.

وإذا نحن تصفحنا تاريخ العلوم، وهذه هي البرهنة التاريخية على قانون الحالات الثلاث، وجدناه يشير بوضوح إلى أن الأمور قد تمت هكذا، إذ ليس فيه ما يدل على أن التطور حدث بالعكس. ليس هناك أي علم وصل الآن المرحلة الوضعية دون أن يكون قد مر بمرحلة سيطرت عليه فيها تصورات ميتافيزيقية. وإذا رجعنا القهقرى أكثر، وجدناه خاضعاً لتصورات لاهوتية. وأكثر من ذلك يمكننا أن نلاحظ أن أرقى العلوم، اليوم، ما زالت تحتفظ بين مفاهيمها وتصوراتها ببعض آثار المرحلتين السابقتين. والانسان نفسه كفرد، يمر في حياته الفكرية بمراحل مشابهة: مرحلة الطفولة التي تسيطر فيها عليه المفاهيم والتصورات اللاهوتية ـ الأسطورية الخيالية، ومرحلة الشباب التي تهيمن فيها عليه التصورات الميتافيزيقية، ثم مرحلة الكهولة التي تنتصر فيها الواقعية وتسود النظرة العلمية.

الحالة الوضعية، إذن، هي قمة تطور الفكر البشري. ليكن ذلك. ولكن ما نوع المنهج الذي يسود فيها، أو يجب أن يسود؟

لقد سبق أن قلنا إن الحالة الوضعية تقوم أساساً على اعتبار الظواهر خاضعة للقوانين،

وان مهمة البحث العلمي هي العمل على الكشف عن هذه القوانين، أي بيان شروط وجود الظواهر، لا أسبابها الأولى والأخيرة. إن المهم والأساسي ـ في نظر أوغست كونت ـ هو بيان كيف يحدث الشيء، لا البحث في «لماذا يحدث؟».

نعم إن البحث العلمي الذي يعتمد الاستقراء والاستنتاج، لا يمكن أن يمارس بشكل مثمر إلّا إذا كانت هناك فكرة موجهة، إذ لا بد من ادخال الفرضية في «الفلسفة الطبيعية» (= الفيزياء). ولكن استعمال الفرضية يجب أن يخضع لشرط أساسي هو: «أن لا نضع من الفرضيات إلّا ما يقبل التحقّق الوضعي عاجلاً أو آجلاً». إن الفرضية، بهذا الاعتبار يجب أن تكون مجرد سبق لما ستمدنا به التجربة. والفرضيات التي ليست من هذا النوع ليست وضعية، هناك إذن نوعان من الفرضيات: نوع يتناول الظواهر للكشف عن العلاقات القائمة بينها، وهذا هو ما يجب أن يكون. ونوع يحاول أن يبين أن جميع الظواهر ترتد إلى أسباب فاعلة عامة، وهذا غير مقبول في العلم، وغير مفيد. فماذا يفيدنا تصور مادة لطيفة كالأثير نفسر بها حركة الضوء أو حدوث الامتداد بالحرارة؟(*).

إن البحث في ما وراء الظواهر وفي «ما تحت» العلاقات غير مشروع في نظر أوغست كونت، ونظر الوضعيين عموماً. فهل يؤيد تاريخ العلم دعواهم؟

لنكتف بالقول إن ما كان يعتبر في عهد أوغست كونت من الأمور الخفية التي يجب أن لا يخوض العلم فيها قد كشف العالم سره الآن، بل وقبل الآن، وأصبحت تلك الأشياء «الخفية» مثل الذرة والكهرباء والحرارة من جملة الحقائق العلمية الواقعية التي تقوم عليها الحضارة المعاصرة.

ثالثاً: جون ستيوارت ميل و «قواعد الاستقراء»

وكما حاول أوغست كونت وضع قانون عام لتطور الفكر البشري أراد جون ستيوارت ميل J.S. Mill (١٨٠٦ ـ ١٨٧٣) من جهته صياغة قواعد للاستقراء تكون للمنهاج التجريبي بمثابة الأضرب والاشكال للقياس الأرسطي. وكما كان أوغست كونت متخلفاً بالنسبة إلى كثير من جوانب التقدم التي حققها الفكر العلمي في عصره، وجاهلاً لكثير من المكتشفات العلمية في ميدان ما كان يسميه بالأمور «الخفية»، كان جون ستيوارت ميل أكثر تخلفاً عن عصره في مجال البحث العلمي التجريبي وأسسه ومناهجه مما جعله ـ في رأي كثير من النقاد ـ أقرب إلى فرانسيس بيكون منه إلى غاليليو أو نيوتن.

أراد جون ستيوارت ميل أن يضع للمنهاج التجريبي قواعد ـ أو لوائح ـ مثلما فعل بيكون، تكون بمثابة الخطوات الضرورية التي لا بد للباحث المجرب من السير على هداها

(*) Auguste Comte, *Cours de philosophie positive*, introduction et commentaire par Ch. la Vernier, collection classique Garenir (Paris, Librairie Garnier Frères, 1926), tome 1 et tome 2.

حتى يتمكن من اكتشاف الروابط الضرورية، أي العلاقات السببية - القوانين - التي تقوم بين الظواهر. إنها قواعد تضبط، في نظره السبل التي تتكفل بالفكرة من مستوى الفرضية إلى مستوى القانون.

وهذه القواعد، أو السبل (سبل تحقيق الفرضية) هي:

١ - **طريقة الإتفاق** وتنص على ما يلي: «إذا اشتركت حالتان أو أكثر من حالات الظاهرة موضوع الدرس، في أمر واحد، فإن هذا الذي تتفق فيه وحدة جميع الحالات هو علة الظاهرة».

٢ - **طريقة الاختلاف**، ونصها كما يلي: «إذا كانت هناك حالتان تبدو الظاهرة في احداهما ولا تظهر في الأخرى، وكانتا تشتركان في جميع الأمور سوى أمر واحد تنفرد به الحالة التي تبدو فيها الظاهرة، فإن هذا الأمر الذي تختلف فيه الحالتان المذكورتان هو علة الظاهرة أو نتيجتها أو جزء ضروري من سببها».

٣ - **الطريقة المختلطة**: «إذا اشتركت حالتان أو أكثر، من حالات ظهور الظاهرة في أمر واحد فقط، بينما لم تشترك حالتان أو أكثر من حالات عدم ظهور الظاهرة إلاّ في غياب هذا الأمر الواحد، فإن هذا الذي تختلف فيه وحده المجموعة الأولى عن المجموعة الثانية هو علة الظاهرة أو نتيجتها أو جزء ضروري من سببها».

٤ - **طريقة البواقي**: «إذا كانت لدينا ظاهرة ما، وسحبنا منها الجزء الذي تبين لنا بواسطة استقراء سابق أنه نتيجة عوامل معينة، فإن ما يتبقى في الظاهرة هو نتيجة العوامل المتبقية».

٥ - **طريقة التلازم في التغير**: «إن الظاهرة التي تتغير بشكل معين كلما تغيرت ظاهرة أخرى بنفس الشكل، لا بد أن تكون احداهما علة أو نتيجة للأخرى، لوجود رابطة سببية بينهما».

تلك هي قواعد الاستقراء التي صاغها جون ستيوارت ميل. ولقد لقيت اعتراضاً وانتقاداً شديدين من جانب المناطقة والعلماء سواء بسواء. وكما قلنا قبل، فلقد كان الرجل متخلفاً عن عصره غائباً عن العلم والعلماء، وإنما ترجع شهرته إلى مكانته الاجتماعية التي مكنته من نشر مؤلفاته وآرائه في انكلترا بشكل واسع أما عن الانتقادات التي وجهت إلى قواعده من الزاوية الابيستيمولوجية فستتعرف على جوانب منها في الفقرة التالية:

رابعاً: وويل وكلود بيرنار: دور الفرضية

لم يعمد وليام وويل William Whewell (١٧٩٤ - ١٨٦٦)، وهو عالم انكليزي في المعادن وامتاذ في جامعة كمبردج، إلى صياغة قانون عام لتطور الفكر البشري كما فعل أوغست كونت ولا إلى حصر المنهاج التجريبي في قواعد محدودة كما فعل جون ستيوارت ميل، بل نحا منحى آخر أقرب ما يكون إلى الأسلوب العلمي. لقد استقرأ تاريخ العلم الحديث

واستنتج منه أسس المنهاج التجريبي الذي طبقه العلماء منذ غاليليو، وكانت الفكرة الأساسية التي خرج بها هي التالية: إن الاكتشافات التي توصلت إليها العلوم الاستقرائية إنما يرجع الفضل فيها إلى فعالية المنهاج الفرضي الاستنتاجي، بمعنى أن الكشف العلمي يرجع أساساً إلى الفرضية لا إلى الاستقراء.

يرى ويول أن الاستقراء وحده لا يكفي، بل لا بد من فرضية توجه البحث وتقوده قبل الاستقراء وخلاله وبعده. ولا توجد طريقة أو طرق محصورة يسلكها الذهن، دون غيرها، للانتقال من الفرضية إلى القانون، بل ليس هناك ما يفصل بين الفرضية والقانون غير تلك التجارب والعمليات الذهنية التي تقودها الفرضية (كان ويول من معاصري جون ستيوارت ميل، ومن أشد معارضيه ومنتقديه).

إن الاعتقاد السائد الذي يرى في الاستقراء الوسيلة الوحيدة التي نحصل بها على قضايا عامة، انطلاقاً من الأحوال الجزئية، والذي يقرر أن القضايا العامة تنتج فقط من تجميع هذه الأحوال وضم بعضها إلى بعض هو - كما يقول ويول - اعتقاد خاطىء تماماً. ذلك لأننا إذا رجعنا إلى الواقع وتتبعنا الخطوات التي سلكها الباحثون، وجدنا أن الأحوال الجزئية لا تجمع هكذا عرضاً، بل هناك دوماً فكرة موجهة، فكرة أدخلت في القضية العامة نفسها ولا توجد في الوقائع الملاحظة. ولكن عندما تندمج هذه الفكرة الموجهة مع معطيات التجربة لتشكل معها مركباً جديداً، ينسى الناس تلك الفكرة ويعتقدون أنها من صميم الواقع، تماماً مثلما يعتقدون أن القلادة هي دوماً قلادة، في حين أن الفكرة التي جعلت منها قلادة هي من الإنسان. فلا يوجد في العالم المادي إلا جواهر معزولة. إن الادلاء بفكرة تجمع شتات الظواهر عملية تستلزم اقتراح فرضية. والفرضية تؤخذ من جملة أفكار أخرى، أي تختار من بينها لكونها أقرب إلى تفسير الظواهر. واقتراح الفرضية من طرف الباحث عمل ينم، لا عن ضعف، بل عن قوة، ويتطلب جرأة وعبقرية.

نعم إنه لا بد من مقارنة الفرضيات مع معطيات الواقع، ولا بد من التخلي عنها عندما لا يكون هناك تطابق بينها، ولكن يمكن، على الرغم من هذا، أن تستعمل الفرضيات في العلم وتؤدي دوراً كبيراً حتى ولو لم يكن هناك ما يؤكدها في التجربة. ذلك لأن دور الفرضية في العلم، شأنها شأن النظرية، دور مؤقت تماماً، وتقدم العلم يصحح الفرضيات ويعدلها باستمرار. وهناك في تاريخ العلم من الفرضيات ما أثبت العلم عدم صحتها، ولكنها مع ذلك قامت بدور كبير، لا في تفسير الظواهر المدروسة وحسب، بل وفي التنبؤ بظواهر جديدة أيضاً. والأمثلة على ذلك كثيرة متعددة، فكم من فرضيات مكنت من التنبؤ الصحيح بظواهر جديدة، على الرغم من أن العلم أثبت فسادها فيما بعد.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى يؤكد ويول - وهو هنا يرفض وضعية أوغست كونت - على مشروعية البحث عن الأسباب وبناء النظريات التفسيرية في العلم، لأن البحث عن الأسباب ليس سوى امتداد للبحث الذي أدى إلى القوانين وليس من الممكن اقامة فاصل واضح ونهائي بين نقطة انتهاء البحث الخاص بالقوانين والبحث الرامي إلى اكتشاف

الأسباب. ففي كلتا الحالتين يتعلق الأمر بتخيل فرضيات، واستخلاص النتائج التجريبية منها بواسطة التجربة[6].

* * *

وإلى مثل هذا الرأي يذهب العالم الفيزيولوجي الفرنسي المشهور كلود برنار Claude Bernard (١٨١٣ ـ ١٨٧٨) الذي شرح ببساطة ووضوح أسس المنهاج التجريبي وخصائصه في كتابه المشهور مقدمة لدراسة الطب التجريبي[7]، فهو يرى من جهته أن جميع المبادرات التجريبية ترجع كلها إلى الفكرة. فالفكرة هي التي تخلق التجربة. أما الاستدلال فمهمته استخلاص النتائج من هذه الفكرة، النتائج التي يراقب صدقها أو عدم صدقها بواسطة التجربة.

يرى كلود برنار أن الفرضية هي نقطة الانطلاق الضرورية لكل استدلال تجريبي، وبدونها لا يمكن القيام بأي بحث، ولا الحصول على أية معرفة، وكل ما يمكن فعله، بدون الفرضية، هو جمع ركام من الملاحظات العقيمة. فإذا قمنا بالتجارب دون فكرة موجهة سبق تصورها أدى بنا ذلك إلى غياهب المجهول، وبالمثل، فإذا قمنا باقتناص ملاحظات انطلاقاً من فكرة مسبقة نريد تبريرها، وكان شغلنا الشاغل هو الحصول على هذا التبرير، أدى بنا ذلك إلى الأخذ بتصورات فكرنا على أنها واقع حقيقي.

ذلك لأن الأفكار التجريبية ليست أفكاراً فطرية، وهي لا تنبثق في الذهن بصورة عفوية، بل لا بد لها من مناسبة، ولا بد لها من حافز خارجي. فلكي تكون لدينا فكرة أولية عن الأشياء، يجب أن نرى هذه الأشياء. والفكر البشري لا يمكنه تصور وجود أشياء بدون أسباب. ولذلك كانت رؤية الظاهرة توقد فينا دوماً فكرة عن السببية، وكانت المعرفة البشرية كلها محصورة في السير القهقري من النتائج إلى الأسباب. فمن ملاحظة ظاهرة ما تتكون لدينا فكرة عن علتها، ثم تدخل هذه الفكرة ـ الفرضية في عملية استدلالية تنتهي بنا إلى القيام بتجارب نراقب بها تلك الفرضية.

والشرطان الأساسيان اللذان يجب أن يتوافرا في كل فرضية علمية، هما أن يكون لها سند من الواقع، أي أن تكون الظواهر هي التي توحي بها، أولاً، وأن تكون قابلة للتحقق منها بالتجربة ثانياً. ولذلك، فالفرضيات التي لا تستوحى من التجربة مجرد خيال، والفرضيات التي لا تقبل التحقق بالتجربة، فرضيات لا تنتمي إلى عالم العلم، بل إلى عالم الفلسفة والميتافيزيقا. إن الفكرة بذرة، والمنهاج التجريبي هو التربة التي تمدها بالشروط التي تجعلها تنمو وتخصب وتعطي أحسن الثمار التي تؤهلها لها طبيعتها. وكما أنه لا ينبت في التربة إلا ما تزرعه فيها، فكذلك لا ينمو في المنهاج التجريبي إلا الأفكار التي تخضعها له.

---

(٦) William Whewell, *De la construction de la science*, traduction: Robert Blanché (Paris: Vrin, 1938), livre II, et Robert Blanché, *Le Rationalisme de Whewell* (Paris: F. Alcan, 1935).

(٧) Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (Paris: Librairie delagrave, 1920).

وإذن، فالعلم التجريبي يقوم على أساسين مترابطين: المنهاج والفكرة. مهمة المنهاج هي قيادة الفكرة التي تنبثق في الذهن والسير بها قدماً إلى الأمام، نحو تفسير الطبيعة والبحث عن الحقيقة. «ويجب أن تكون الفكرة حرة دوماً، غير مقيدة لا بالمعتقدات الدينية ولا بالمعتقدات الفلسفية ولا بالنظريات العلمية». يجب أن يكون العالم «شجاعاً حراً» يفصح عن أفكاره دون خوف ولا وجل ولا يخشى من عدم توافق الفرضيات التي يقترحها مع النظريات القائمة ولا من تناقضها مع المعتقدات السائدة. إن الفكرة هي القوة المحركة للاستدلال، في العلم كما في غيره من ميادين المعرفة والتفكير. ويجب دوماً، وفي جميع الحالات، اخضاعها لمقياس ما. وهذا المقياس، في ميدان العلم، هو المنهاج التجريبي أو التجربة. إنه مقياس ضروري وأكيد، ويجب أن نطبقه على أفكارنا وأفكار غيرنا. «يجب أن نعدل النظرية لتتوافق مع الطبيعة، لا أن نعدل الطبيعة للتوافق مع النظرية».

هذا عن الفرضية ودورها في البحث العلمي، أما عن طبيعة المنهاج التجريبي ذاته، ودور كل من الاستقراء والاستنتاج في عملياته ومراحله، فإن كلود بيرنار يرى أن الفصل بين الاستقراء والاستنتاج، والقول بأن الأول خاص بالعلوم التجريبية والثاني خاص بالرياضيات، أمر ينطوي على قدر كبير من التعسف. ذلك أنه إذا كان ذهن الباحث المجرب ينطلق عادة من الملاحظات الجزئية ليصل إلى القضايا العامة، أي القوانين، فإنه يتحرك أيضاً، وبالضرورة، انطلاقاً من هذه القضايا العامة ليصل إلى الحوادث الجزئية التي يستنتجها منطقياً من هذه الأخيرة. ولكن بما أن يقين هذه القضايا العامة ليس يقيناً مطلقاً، فإن ذلك الاستنتاج يبقى دوماً استنتاجاً مؤقتاً لأنه يظل في حاجة إلى التحقيق التجريبي.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى فليس صحيحاً ـ يقول كلود بيرنار ـ إن الاستنتاج خاص بالرياضيات، والاستقراء خاص بالطبيعيات، فالواقع أن كلاً منهما يستعمل في جميع العلوم، لأن هناك، في جميع العلوم، أشياء لا نعرفها وأخرى نعرفها أو نعتقد أننا على معرفة بها. فعندما يدرس الرياضيون المسائل التي لا يعرفونها يقومون باستقراء يشبه ذلك الذي يقوم به الفيزيائي أو الكيميائي أو الفيزيولوجي، ولا تختلف طريقة التفكير لدى الرياضي عنها لدى المجرب عندما يكونان بصدد البحث عن المبادىء أو القوانين. فكلاهما يستقرىء ويقترح الفروض ويقوم بالتجربة، أي بمحاولات للتحقق من صدق تلك الفروض. ولا يختلف الرياضي عن الباحث التجريبي إلا عندما يصل كل منهما إلى القضايا العامة التي يبحث عنها. وهذا الاختلاف راجع إلى أن المبادىء التي ينطلق منها العالم الرياضي تؤخذ على أنها يقينية[8] لأنها لا تطبق على الواقع الموضوعي كما هو، بل على علاقات تقوم بين أشياء تؤخذ في ظروف وشروط بسيطة، أشياء يختارها الرياضي أو يخترعها في ذهنه بشكل من الأشكال. وبما أنه متأكد من أنه ليس هناك ما يحمله على ادخال شروط أخرى في استدلالاته غير تلك التي حددها بنفسه، فإن المبادىء التي أقرّها تبقى مطابقة للفكر، مثلما هو الشأن في المنطق.

---

(٨) يتكلم كلود بيرنار هنا عن التصور الكلاسيكي للأوليات الرياضية، لا عن التصور الاكسيومي الحديث. راجع الجزء الأول من هذا الكتاب، الفصل الثاني.

فالاستدلال في الرياضيات وفي المنطق هو هو، ونتائجه لا تحتاج إلى التحقيق التجريبي، إذ المنطق وحده يكفي.

أما بالنسبة إلى الباحث التجريبي فالأمر يختلف. ذلك لأن القضية العامة التي يصل إليها، أو المبدأ الذي يستند إليه، يبقيان نسبيين ومؤقتين، لكونهما يعبران عن علاقات معقدة ليس في وسع الباحث قط الجزم بأنه ملم بها تمام الإلمام. ومن هنا يظل الاستنتاج في العلوم التجريبية، مهما كان متماسكاً من الناحية المنطقية، عرضة للشك، كما يبقى المبدأ الذي يستند إليه غير يقيني لأنه ليس صادراً، كما هو الشأن في المنطق والرياضيات، عن مطابقة الفكر لنفسه. ولذلك كان من الضروري، بالنسبة إلى الباحث في الطبيعة، الرجوع إلى التجربة للتأكد من صحة ما أسفر عنه استدلاله من نتائج.

وإذا كان هذا الفرق بين الرياضيات والعلوم التجريبية فرقاً أساسياً على صعيد يقين المبادىء والنتائج التي تستخلص منها، فإن آلية الاستدلال الاستنتاجي هي هي في كل منهما، فمنطلقه هو دوماً: الفرضية، إن لسان حال الرياضي يقول: **إذا انطلقنا من هذه القضية، وهي صحيحة، فها هي النتائج الصحيحة التي تنتج منها. أما الباحث التجريبي فلسان حاله يقول: إذا كانت هذه القضية التي انطلقنا منها صحيحة فها هي النتائج التي تعقبها.**

إن هذا يعني أن على الباحث التجريبي **أن يشك دوماً في ما يحصل عليه من نتائج.** ولكن الشك هنا لا يعني اتخاذ موقف مبدئي من المعرفة وامكانيتها، كلا، **إن الشك المطلوب في العلم يجب أن لا يمتد إلى العلم نفسه، بل يجب أن يبقى محصوراً في الطرق التي بها يكتسب العلم.** إن على المجرب أن يشك في صلاحية الفكرة التي يدلي بها كفرضية يقترحها لتفسير الظواهر. وعليه أيضاً أن يشك في الوسائل التي يستعملها في الملاحظة والطرق التي يسلكها في البحث، فلا يمنحها ثقته المطلقة. كل ذلك واجب. **ولكن الذي يجب أن لا يتطرق إليه الشك أبداً، في نظر كلود بيرنار، هو مبدأ الحتمية، المبدأ الذي يؤسس العلم التجريبي كله.**

ذلك لأن شك الباحث المجرب في فرضياته لا يعني شيئاً آخر سوى أن عليه أن يخضعها للتجربة ليتأكد من صحتها أو عدم صحتها، ولكن ليس معنى هذا أنه يجب أن يتخذ الحوادث التجريبية وحدها حكماً ومعياراً، **فالحوادث التجريبية، بدون فكر يفحصها وينظمها ويستنطقها هي لا شيء،** ولذلك يظل العقل دوماً الأساس الذي تقوم عليه عملية التحقق من الفرضيات. إنه المعيار الذي يجب الاستناد إليه، فهو الذي يقيم الروابط بين الحوادث وأسبابها، وبالتالي يكشف عن صحة الفرضية أو عدم صحتها، وسيلته في ذلك مبدأ الحتمية، **وهو مبدأ عقلي بدونه لا يمكن أن تقوم للمعرفة العلمية قائمة.**

إن الإيمان الراسخ بهذا المبدأ هو المرشد الذي يوجه الباحث في ملاحظاته وتجاربه، في تحقيق ما يقترحه من فروض وما يستخلصه من نتائج وقوانين. **فإذا صادف الباحث خلال أبحاثه ظاهرة لا تقبل الخضوع لمبدأ الحتمية، فإن عليه أن يبعدها من طريقه، فعدم الخضوع**

لمبدأ الحتمية معناه أن الظاهرة المعنية ظاهرة غير علمية. وفي هذه الحالة يتحتم عليه أن يقوم بمراجعة شاملة لتجاربه وأبحاثه، وأن يعمد إلى تجارب أخرى، حتى يتبين له السبب الذي جعل الظاهرة المذكورة لا تقبل الاندماج في الحوادث التي ينتظمها مبدأ الحتمية. إن وجود ظاهرة لا تخضع لمبدأ الحتمية لا يعني شيئاً آخر سوى أن هناك خطأً أو نقصاً في الملاحظة. أما **أن تكون هناك ظواهر لا تخضع للحتمية، أي ظواهر لا أسباب لها، فهذا ما ينافي العلم والروح العلمية**. إن التسليم بوجود مثل هذه الظواهر معناه الشك في العلم، بل الشك في العقل ذاته: إن العقل يتعقل الظواهر المحددة ـ التي تنتظمها الحتمية ـ ولكنه لا يقبل ولا يستطيع أن يقبل وجود ظواهر لا تقبل التحديد الحتمي إلاّ إذا كان الأمر يتعلق بالمعجزات والخوارق وتلك أمور يجب تشطيبها نهائياً من العلم التجريبي. **إن العلم حتمي بالضرورة وكل ظاهرة لا تقبل التحديد الحتمي هي ظاهرة غير علمية يجب أن تزاح عن طريق العلم**.

* * *

هذه المناقشات حول الفرضية وطبيعتها ودورها، وحول طبيعة البحث العلمي ذاته ـ هل يقتصر على الظواهر والكشف عن العلاقات التي تربطها ربطاً ضرورياً (القوانين) أم أنه يجب أن يتعدى ذلك إلى البحث عن الأسباب والخوض في «ما وراء الظواهر» ـ قد اشتدت وتعمّقت بسبب الكشوف العلمية التي تمت في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، أي في عهد ورويل وكلود برنار نفسيهما، فتحول النقاش من الفرضية ودورها إلى النظرية العلمية وحدودها. وهنا تبلورت اتجاهات ابستيمولوجية متنوعة يمكن تصنيفها إلى صنفين: **اتجاهات وضعية، واتجاهات لاوضعية**. الأولى تحصر دور النظرية العلمية في تركيب القوانين وادماج بعضها في بعض، والثانية ترى أن مهمة النظرية العلمية هي تفسير الظواهر وتقديم صورة معقولة عنها مبنية على فكرة السببية. وسنعالج في الفصل التالي مجمل آراء هذه الاتجاهات.

الفصل الرابع

النظرية الفيزيائية ومشكلة الاستقراء

شهد القرن التاسع عشر، وخاصة النصف الثاني منه، اتجاهات عديدة متباينة في فلسفة العلوم كان محورها: النظرية الفيزيائية وطبيعة المعرفة العلمية، ويمكن القول بصفة عامة إن النقاش بين هذه الاتجاهات كان يدور حول نقطتين رئيسيتين:

ـ **مهمة النظرية الفيزيائية**: هل يجب أن تطمح النظرية الفيزيائية إلى تقديم تفسير لظواهر الطبيعة يبرز وحدتها ومعقوليتها، أم أن عليها أن تقتصر فقط على اختزال القوانين العلمية بدمج بعضها في بعض، حاصرة مجال عملها في تقديم وصف مركز لمعطيات التجربة.

ـ **طبيعة المعرفة العلمية ذاتها**: هل هي معرفة يقينية تكشف عن حقيقة الواقع الموضوعي، أم أنها معرفة مؤقتة ونسبية محصورة في مجال الظواهر الحسية.

والنقطتان مترابطتان متداخلتان: بل هما وجهان لقضية واحدة، ولذلك يمكن تصنيف تلك الاتجاهات في صنفين: **اتجاهات وضعية واتجاهات لاوضعية**. الأولى تجريبية ظاهراتية (= تحصر عمل العلم في الظواهر الحسية)، والثانية عقلانية تفسيرية (= تحاول أن تفسر الظواهر بأسبابها «الخفية»). الاتجاهات الوضعية ـ الجديدة ترتبط مباشرة بماخ، ومنه باركلي. والاتجاهات العقلانية التفسيرية ترتد في جزء منها إلى ديكارت، وفي جزء آخر إلى نيوتن، على الرغم من أن هذا الأخير قد عارض ديكارت معارضة شديدة في بعض المسائل، خاصة في ما يتعلق بمصدر الفرضيات العلمية، كما رأينا ذلك في الفصل السابق.

وقبل أن نعرض لهذه الاتجاهات الوضعية واللاوضعية سنقول كلمة عن **النزعة الدوغماتية العلموية** Scientisme التي انتشرت في القرن التاسع عشر خاصة، والتي أدت إلى قيام ردود فعل عززت جانب الاتجاهات الوضعية.

أولاً: الدوغماتية والعلموية

ليس ثمة من شك في أن ديكارت دوغماتي النزعة. ولكن دوغماتيته فلسفية قبل كل شيء (الأفكار الفطرية، البداهة والوضوح، اليقين الرياضي).

ولذلك، فإن النزعة الدوغماتية في العلم إنما ترجع أساساً إلى نيوتن. لقد عارض نيوتن دوغماتية ديكارت الميتافيزيقية، ولكنه أحل محلها دوغماتية علمية. كانت دوغماتية ديكارت دوغماتية المبادىء، أما نيوتن فقد قلب هذه الدوغماتية الفلسفية وجعلها دوغماتية النتائج، كان يقول: أنا لا أضع من الفروض إلاّ ما تبرهن التجربة عن صحته (راجع ما قلناه عن نيوتن في الفصل السابق).

وعلى الرغم من أن أوغست كونت قد حصر مهمة العلم في البحث عن القوانين مطالباً بقصر البحث العلمي في دراسة شروط وجود الظاهرة، والإعراض عن البحث في كيفية وجودها وأسباب حدوثها، فإنه كان يعتقد أن العلم يستطيع الإجابة عن جميع الأسئلة، شريطة أن يصاغ السؤال بكيفية علمية. لقد كان أوغست كونت واثقاً في العلم وفي قدرته على حل جميع المشاكل حتى الاجتماعية منها، كيف لا وهو الذي جعل المرحلة الوضعية (= العلمية) أرقى مراحل تطور الفكر البشري. إنه من هذه الناحية دوغماتي تماماً كنيوتن، ولذلك لم ترتبط به الاتجاهات الجديدة أي ارتباط.

على أساس العلم النيوتوني ـ الدوغماتي النزعة ـ والفلسفة الوضعية التي شيّد صرحها أوغست كونت، والتي رفعت العلم إلى أسمى الدرجات، قامت نزعة علموية، انتشرت في النصف الثاني من القرن التاسع عشر خاصة، وكان زعماؤها، في الغالب، فلاسفة لا علماء. وكثيراً ما كان هؤلاء الفلاسفة متخلفين عن ملاحقة تقدم العلم متمسكين بالنظريات والآراء التي تجاوزها البحث العلمي. ومن أبرز هؤلاء الفيلسوف الفرنسي أرنست رينان Ernest Renan (١٨٢٣ ـ ١٨٩٢) وارنست هيكل Ernest Hackel (١٨٣٤ ـ ١٩١٩).

يقصد بالنزعة العلموية النزعة التي ترى أن المعرفة العلمية، الفيزيائية والكيميائية هي وحدها المعرفة الحق، فهي من هذه الناحية وضعية الاتجاه. غير أنه يمكن التمييز بين العلموية الميتافيزيقية التي تعتقد أن العلم سيحل جميع المشاكل التي كانت من اختصاص الميتافيزيقا، وبين العلموية المنهجية التي ترى أن المنهاج المتبع في الفيزياء والكيمياء هو وحده الصالح، ولذلك يجب تطبيقه في العلوم الانسانية.

وإذا كانت العلموية المنهجية قد استعارت مصطلحات ومفاهيم الفيزياء والكيمياء لتستعملها بشكل تعسفي ساذج في الميادين الاجتماعية والسيكولوجية مما أدّى إلى قيام علوم اجتماعية وسوسيولوجية ميكانيكية ذرية، فإن العلموية الميتافيزيقية قد حاولت هي الأخرى اقامة تصورات عامة عن الكون والانسان بواسطة «النتائج العلمية». وهكذا نشأت ديانات وضعية تعتبر «العلم دين المستقبل» (سان سيمون، أوغست كونت، هربرت سبنسر..). لقد كان أقطاب هذه النزعة يعتقدون أنه بإمكان العلم أن يركب مختلف المعارف البشرية

تركيباً كلياً شاملاً يقوم على مبدأ واحد (المادة والحركة بالنسبة إلى النزعة الميكانيكية، ومبدأ التطور بالنسبة إلى سبنسر)، وبذلك يتم القضاء نهائياً على الميتافيزيقا. لقد عبر ونِدت Wundt عن روح هذه النزعة، فقال: «في القرن السابع عشر كان الله هو الذي يضع قوانين الطبيعة، أما في القرن الثامن عشر فلقد كانت هذه القوانين من صنع الطبيعة نفسها، أما في القرن التاسع عشر فإن قوانين الطبيعة يضعها العلماء أنفسهم».

لقد تعرّضت هذه النزعة الدوغماتية العلموية لانتقادات شديدة، خاصة في الربع الأخير من القرن التاسع عشر. مما أدى إلى قيام اتجاهات وضعية تنادي بحصر المعرفة العلمية في نطاق محدود، نطاق الظواهر الحسية. وكما قلنا قبل، فلقد أحدثت هذه النزعات الوضعية الجديدة ردود فعل من جانب العلماء والفلاسفة ذوي الميول العقلانية. وقد كان النقاش بين هؤلاء، وأولئك يدور، بكيفية خاصة، حول النظرية العلمية، طبيعتها وحدودها. وسنقدم في الفقرات التالية عملاً لهذه المناقشات[1].

ثانياً: مصادر الوضعية الجديدة: باركلي وماخ

على الرغم من أن أوغست كونت هو مؤسس الفلسفة الوضعية، فإن الاتجاهات الوضعية الجديدة بمختلف نزعاتها، لا ترتبط بأوغست كونت مباشرة، بل بظاهراتية ماخ Phenoménisme التي ترتبط هي الأخرى بلا مادية بركلي.

عاش الراهب بركلي (١٦٨٥ ـ ١٧٥٣) في عصر طغت فيه النزعة المادية الالحادية الميكانيكية، فأراد أن يهدم هذه النزعة من أساسها، وذلك بالبرهنة على عدم وجود المادة كشيء مستقل عن الفكر الذي يدركها، ومن هنا قولته المشهورة: **الموجود هو ما يدرك**. ولم يكن بركلي G. Berkeley يهدف من وراء ذلك إلى هدم الميتافيزيقا، بل بالعكس، كان يهدف إلى اثبات أن المعرفة العلمية، وموضوعها الظواهر الحسية، ليست سوى وسيلة تمكننا من الصعود إلى نوع من المعرفة أسمى، هي المعرفة الروحية. إن مهمة العلم، إذن، ليس تفسير الكون، بل الاقتصار على البحث عن الروابط المنتظمة التي تربط بين الظواهر، الشيء الذي يساعدنا على جعل أفعالنا ونشاطاتنا تخدم بكيفية أفضل، حاجات الحياة. إن المحاولات التي تريد إرجاع الظواهر كلها إلى المادة والحركة (النزعة الميكانيكية) هي في نظر بركلي، محاولات غير مشروعة، لأن المادة ـ وكذلك الحركة ـ لا تتمتع بأي وجود مستقل عن الذات التي تدركها، فهي ترجع إلى مجرد احساسات، مثلها مثل اللون والصوت والحرارة. وبعبارة أخرى: **إن الواقع الطبيعي هو نفسه الواقع الحسي**. ذلك لأننا لا ندرك، بواسطة حواسنا، إلاّ التأثيرات والكيفيات الحسية. أما الأجسام فهي مجموع هذه الاحساسات وهي منفعلة، لا

---

(١) لن نتعرض هنا لوضعية جماعية فينا وفروعها المعاصرة، وهي الوضعية التي يطلق عليها اليوم مصطلح «الوضعية الجديدة». لقد عالجنا أهم مقولات هذه الجماعة في المدخل العام الذي صدرنا به الجزء الأول من هذا الكتاب. أما مرتكزاتها العلمية فتضمنها النصوص الملحقة بهذا الجزء.

فاعلة، سواء كانت ساكنة أو متحركة. والعقل والتجربة معاً يدلاننا على أنه ليس هناك من شيء فاعل إلاّ الفكر والروح. ومن هنا يجب التميز بين مجال الفلسفة الطبيعية (= الفيزياء) وقوامه التجارب وقوانين الحركة.. ومجال العلم الأسمى الذي يسعى إلى معرفة خالق الطبيعة. وهذا العلم لا يمكن أن يستقى من الظواهر لأنها مجرد احساسات، بل إن منبعه ومصدره التأملات الميتافيزيقية واللاهوتية والأخلاقية.

تبنّى العالم الفيزيائي ماخ Ernest Mach (١٨٣٨ ـ ١٩١٦) أطروحة باركلي التي تحصر المعرفة في الظواهر الحسية، وحاول أن يعطيها طابعاً علمياً، ساكتاً عن النتائج الميتافيزيقية اللازمة عنها. **يرى ماخ أن الطبيعة تتألف من عناصر تمدّنا بها الحواس، ومن هذه العناصر نؤلف مركبات تتمتع باستقرار نسبي وندعوها «أشياء». إن الشيء، في نظره (أي الأجسام والموضوعات) لا يتمتع بأي وجود موضوعي، بل هو مجرد مركب ذهني من الاحساسات. ومن ثمة فإن ما يشكل العناصر الحقيقية للعالم ليس الموضوعات والأجسام، بل الإحساسات البصرية والسمعية واللمسية.**

وانطلاقاً من هذه الأطروحة ـ التي كانت رد فعل مباشر ضد المثالية الألمانية وفلسفة «الشيء في ذاته» ـ **حدّد ماخ مهمة العلم في استنساخ صور ذهنية من الواقع، صور يختزلها الفكر ويدخرها اقتصاداً للمجهود الفكري**. لقد أنكر ماخ، لا «الشيء في ذاته» وحسب، بل الشيء كحقيقة موضوعية، كما أنكر الوجود الموضوعي للسببية. فالترابط بين السبب والنتيجة غير موجود في الطبيعة، بل يقوم، فقط، بين الصور الذهنية التي يختزنها الفكر. ومن هنا نادى بعدم مشروعية النظريات التفسيرية. وقال: **إن مهمة العلم يجب أن تنحصر في تقديم عدة ظواهر في صورة قانون، وأن وظيفة النظرية العلمية يجب أن تنحصر هي الأخرى في عرض الحوادث، عرضاً واضحاً قدر الامكان، بأقل نفقة فكرية (= مبدأ اقتصاد الفكر)**[٢].

هذا وإذا كانت فلسفة ماخ امتداداً مباشراً لفلسفة باركلي اللامادية، ورد فعل مباشر كذلك للمثالية الالمانية (هيغل، فخته، شلنج)، فإنها قد جاءت أيضاً تأويلاً ايديولوجياً لبعض المكتشفات العلمية، خاصة منها تلك التي تمت في ميدان الطاقة والمرتبطة بالنظرية الحركية للغازات. وكما سنرى في الفقرة التالية فإن الكشف العلمي الواحد يمكن أن يستغل فلسفياً وايديولوجياً لأهداف متباينة بل متناقضة.

ثالثاً: النزعة الميكانيكية ونظرية الطاقة

تعزّزت النزعة الميكانيكية التي شيّد صرحها نيوتن بقيام النظرية الحركية للغازات التي كان لها تأثير كبير في مختلف مرافق الفيزياء والاستشرافات الفلسفية التي تتخذ الكشوف العلمية أساساً لها ومنطلقاً. لقد تمكّنت هذه النظرية من الكشف عن «طبيعة» الحرارة

(٢) انظر في قسم النصوص نصاً لماخ في هذا المعنى.

بإرجاعها إلى ظاهرة ميكانيكية هي الحركة بالذات، لقد اتضح أن حرارة الجسم هي نتيجة حركة جزيئاته[3]. والنتيجة هي أن الحركة التي تنتج الحركة هي نفسها نتاج للحركة، وبعبارة أخرى لقد تبين، بما لا يقبل الشك، أن هناك تكافؤاً بين الحرارة والشغل، مما فتح آفاقاً جديدة أمام التفسير الميكانيكي للظواهر الطبيعية. وهكذا فليست الكواكب والأجسام الكبيرة هي وحدها التي تقبل التفسير الميكانيكي، بل إن جزيئات المادة الصلبة وجزيئات السوائل وجزيئات الغازات تقبل كلها الدخول في التصور الميكانيكي وتندرج تحت قوانينه.

من هنا قامت نزعة ميكانيكية جديدة ومتطرفة أعم وأشمل من النزعة الميكانيكية الكلاسيكية (نزعة نيوتن). وكان العالم الالماني هيلمولتز Helmholtz (١٨٢١ - ١٨٩٤) أبرز ممثل لها. وفيما يلي مجمل لآرائه.

يميز هيلمولتز بين **الفيزياء التجريبية** (أو العلم التجريبي) وبين الميكانيكا النظرية (أو العلم النظري). **الأولى** تبحث عن القوانين العامة التي ترتد إليها الظواهر، **والثانية** تبحث عن الأسباب التي تقف وراء تلك الظواهر. والأسباب، في نظره، نوعان: **أسباب لامتغيرة** وأسباب متغيرة. فإذا وجدنا ظواهر ترتد إلى أسباب متغيرة وجب علينا، وفقاً لمبدأ السببية، البحث عن السبب أو الأسباب التي جعلتها متغيرة، ومن ثمة البحث عن الأسباب اللامتغيرة، أي تلك التي تنتج منها دوماً، وفي نفس الظروف، نفس النتائج. ومن ثمة كان **الهدف الأخير للعلم النظري هو الكشف عن الأسباب اللامتغيرة التي تقف وراء حوادث الظواهر**. ذلك لأنه من الضروري للعلم الذي يهدف إلى تعقل الطبيعة، أن ينطلق من التسليم بإمكانية التفسير السببي لجميع الظواهر في العمل في ضوء هذا المنطلق. **إن التصور الحتمي للظواهر الطبيعية ضروري، ليس فقط لتقدم العلم، بل أيضاً لتأكيد عمودية معارفنا**.

ولكن، كيف يمكن تطبيق هذا التصور الحتمي للظواهر الطبيعية؟

يقول هيلمولتز: إن العلم ينظر إلى أشياء العالم الخارجي من زاويتين: **فهو من جهة** ينظر إليها بوصفها موجودة فقط، ولا ينظر إلا في هذا الوجود الذي تتصف به غاضاً النظر عن تأثيرها مهما كان الموضوع الذي يقع عليه هذا التأثير. وفي هذه الحالة يطلق على أشياء الطبيعة، منظوراً إليها من هذه الزاوية، اسم مادة. وإذن، فالمادة كوجود لا تقوم بأي فعل أو تأثير، ونحن لا نعرف عنها إلا أنها امتداد وكم (كتلة)، وتلك خاصية لها ثابتة. **ومن جهة ثانية ينظر العلم** إلى أشياء الطبيعة من حيث انها تختلف عن بعضها بعضاً بشيء واحد هو تأثيرها أي قوتها، أما الفروق الكيفية فهي لا تدخل في صميم المادة. إن التغير الوحيد الذي يعتري المادة هو ذلك الذي يلحق موقعها في المكان، أي ما نعبر عنه بالحركة. وبما أنه لا يوجد شيء في الطبيعة إلا وله تأثير - جميع الأشياء التي نعرفها ترجع معرفتنا بها إلى تأثيرها في حواسنا - فإن هذا التأثير يقودنا هو نفسه إلى سببه ومصدره.

---

(٣) انظر تفاصيل حول الموضوع في القسم الثاني، الفصل الخامس.

وإذن، فجميع أشياء الطبيعة ترجع عند نهاية التحليل إلى المادة والقوة. والمادة والقوة متلازمتان لا تقبلان الفصل واقعياً. فالمادة المحض، إذا ما وجدت، لن يكون لها أية علاقة بالأشياء الأخرى، ولن تؤثر على حواسنا، وبالتالي فنحن لا نعرف ولا نتصور إلا المادة المؤثرة المتحركة. ومن الخطأ اعتبار المادة شيئاً واقعياً والقوة مفهوماً ذهنياً، بل هما معاً صفتان للواقع الموضوعي. إنهما تجريدان مستخلصان بنفس العملية الذهنية وإذن، فنحن لا نعرف إلا المادة والحركة (= القوة). **وجميع الظواهر الطبيعية ترتد في نهاية التحليل إلى حركات المادة. والحركة تعديل للعلاقات الميكانيكية، والقوة هي ميل كتلتين إلى تعديل موقعيهما.** والعلاقات المكانية التي تربط الأشياء ترتد هي الأخرى، عند نهاية التحليل، إلى علاقات تتعلق بالمسافة الفاصلة بينها. وإذن، فالقوة المحركة التي تربط الأجسام بعلاقات مسافة لا يتغير فيها إلا شيء واحد هو الاتجاه، وهذا يعني أن القوة لا بد أن تكون إما جاذبة وإما نابذة.

ومن هنا يستخلص هيلمولتز النتيجة التالية التي تعبر أقوى تعبير عن نزعته الميكانيكية المفرطة. يقول: **إن مشكل العلوم الفيزيائية ينحصر في إرجاع جميع الظواهر الطبيعية إلى قوى ثابتة، جاذبة أو نابذة، توقف شدتها على المسافة الفاصلة بين مراكز الجذب ومراكز النبذ، إن امكانية الوصول إلى فهم تام للطبيعة يتوقف على حل هذا المشكل.**

وكرد فعل ضد هذه النزعة الميكانيكية المتطرفة قامت نظرية الطاقة Energetiques مستندة هي الأخرى إلى النظرية الحركية للغازات وكان من أبرز أقطابها في انكلترا رانكين Rankin (١٨٢٠ - ١٨٧٢) وقد ساند هذه النظرية كل من ماخ واستوالد في المانيا ودوهيم في فرنسا.

يرى رانكين أن اكتشاف تكافؤ الحرارة مع الشغل لا يعني بالضرورة ارجاع الحرارة إلى الحركة وبالتالي إلى الطاقة الميكانيكية. فلماذا تفضل الطاقة الميكانيكية على الأنواع الأخرى من الطاقة؟ إن هذا التفضيل «اختيار» تعسفي ومن الواجب التقيد بمعطيات التجربة وحدها. والتجربة تدلنا، فقط، على أن هناك أنواعاً من الطاقة، كالطاقة الميكانيكية، والطاقة الحرارية، والطاقة الكيماوية، والطاقة الكهربائية. فلماذا نأخذ الطاقة الميكانيكية ونجعلها أساساً لجميع أنواع الطاقة، وبالتالي أساساً للفيزياء؟ إن التقيد بمعطيات التجربة يفرض علينا أن ننظر إلى هذه الأنواع من الطاقة كظواهر تجريبية لا أفضلية لإحداها على الأخرى. وبالتالي يتحتم علينا أن نأخذ مفهوم الطاقة العام كواقعة طبيعية أساسية نبني عليها الفيزياء كلها. ذلك لأنه لا يوجد شيء آخر أساسي فيما تمدنا به التجربة غير الطاقة، إن ما نسميه المادة ملازم لما نسميه الحركة، فليست هناك مادة بمفردها، ولا حركة بمفردها، وكل ما هناك هو الطاقة.

ذلك ما قال به رانكين صاحب نظرية الطاقة المبنية على تصور وضعي ظاهراتي لحوادث الطبيعة. إنه يرى أن **النظرة الفيزيائية يجب أن تتجنب كل فرضية وكل محاولة لتفسير الطبيعة، وأن تقتصر، بالتالي، على اقامة نوع من التناظر بين المعادلات الجبرية ومجموع القوانين التجريبية.** وهكذا طرحت بحدة «مشكلة» النظرية العلمية: طبيعتها، حدودها،

دورها، فجرت في هذا الصدد مناقشات طويلة عريضة حول النظرية الفيزيائية، وانقسم العلماء إلى فريقين: فريق وضعي يؤكد نزعة ماخ وقصور رانكين، وفريق عقلاني يريد أن يحفظ للنظرية الفيزيائية بمهمتها الأصلية، مهمة تفسير حوادث الكون وظواهره، وإرجاعها إلى أقل عدد ممكن من المبادىء.

رابعاً: النظرية الفيزيائية: اتجاهان متعارضان

١ ـ الاتجاه الوضعي

لا يشكل الاتجاه الوضعي في العلم وحدة منسجمة، بل هو في الحقيقة اتجاهات متباينة، ولكنها تتفق كلها ـ تقريباً ـ في الدعوة إلى التقيد بالظواهر ومعطيات التجربة والامساك عن كل محاولة تفسيرية تتعدى حدود الظواهر ايماناً منها بأن العلم لا يستطيع بلوغ «حقيقة» الواقع، هذا إذا افترضنا أن هناك فعلاً واقعاً موضوعياً مستقلاً عن ادراكنا ومعارفنا العلمية، ومن أبرز الذين يصنفون في هذا الاتجاه، بيير دوهيم، وبوانكاريه، ولوروا... هذا بالإضافة إلى ماخ ورانكين من جهة، وجماعة فينا وفروعها من جهة أخرى.

أ ـ دوهيم ومعنى النظرية الفيزيائية

يرى بيير دوهيم Pierre Duhem (١٨٦١ ـ ١٩١٦) أن النظرية الفيزيائية ستكون تحت وصاية الميتافيزيقا إذا هي حاولت تفسير الواقع المادي، لأن هذا «التفسير» لا يمكن أن يستند إلاّ على فرضيات وليس على معطيات التجربة. إن النظرية الفيزيائية لن تكون مستقلة بنفسها ـ في نظره ـ إلاّ إذا ابتعدت عن المعتقدات الميتافيزيقية والصراعات التي تحتدم بين المدارس الفلسفية، واعتمدت على مبادىء مستقاة من التجربة وحدها، واقتصرت على تركيب القوانين الفيزيائية المستخلصة من التجربة. ومن هنا تعريفه المشهور للنظرية الفيزيائية: يقول: **«ليست النظرية الفيزيائية تفسيراً (= للواقع)، بل هي منظومة من القضايا الرياضية المستنتجة من عدد قليل من المبادىء والهادفة إلى صياغة مجموعة من القوانين التجريبية بأكثر ما يمكن من البساطة والشمول والدقة»**. وهكذا، فالنظرية الفيزيائية تكون صحيحة، لا لأنها تقدم تفسيراً للظواهر الحسية مطابقاً للواقع، بل لأنها تعبر بكيفية مُرضية عن مجموعة من القوانين التجريبية. وتكون النظرية الفيزيائية خاطئة لا لأنها تعتمد في التفسير الذي تقدمه على افتراضات لا أساس لها من الواقع، بل لأنها تتألف من قضايا لا تتوافق مع القوانين التجريبية. وهذا يعني أن النظرية الفيزيائية لا تستحق هذا الاسم إلاّ إذا كانت مبنية على القوانين التجريبية. والمعيار الوحيد الذي يجب أن يقاس به صواب أو خطأ هذه النظرية هو التجربة. فهي صحيحة عندما تتوافق مع القوانين التجريبية، وخاطئة في الحالة المعاكسة.

وإذا كان الأمر كذلك فما مهمة النظرية الفيزيائية وما وظيفتها؟ وما الفرق بينها وبين القوانين؟

هنا يلتقي دوهيم مع ماخ ويتبنى صراحة آراءه. **يقول إن مهمة النظرية الفيزيائية ووظيفتها معاً، هي الاقتصاد في المجهود الذهني، واضفاء النظام على القوانين التجريبية وجعلها أسهل تناولاً وأكثر مجالاً.**

ب - بوانكاريه والنظرية الملائمة

ويرى **بوانكاريه** من جهته أنه من الخطأ وصف نظرية ما بالصحة إذ ليست هناك نظرية صحيحة بإطلاق، فالنظريات تتعدل وتتغير باستمرار، وكم من نظرية قامت نظرية أخرى تكذبها وتلغيها. وإذن، فإن **النظرية لا تكون صحيحة أو غير صحيحة، وإنما تكون ملائمة أو غير ملائمة.**

ذلك لأن النظرية الفيزيائية إنما تستند إلى شيئين اثنين: المبادىء، والصور الذهنية المستنسخة من الواقع. أما **المبادىء** فهي ليست، عند نهاية التحليل، سوى **تعاريف مقنعة**، فهي من وضع العالم، لا من **معطيات التجربة**، ولذلك لا يمكن القول إنها صحيحة «حقيقية». أما **الصور الذهنية** المستنسخة من الواقع فلا يمكن النظر إليها، هي الأخرى، كحقائق واقعية، إذ يجوز دوماً - وهذا ما يحدث بالفعل - استبدالها بغيرها، مع بقاء العلاقات التي تنظم الظواهر الطبيعية هي هي، بمعنى أنه يمكن للفكر أن يستنسخ الظواهر الطبيعية بصور مختلفة، دون أن يمس ذلك من العلاقات الثابتة التي تربط بين الظواهر. وإذن: **فالمبادىء تعاريف، وهي تتغير، لأنها مجرد مواضعات، والصور الذهنية مجرد نسخ عن الواقع، وهي تتغير كذلك، والشيء الوحيد الذي يبقى ثابتاً هو العلاقات بين الظواهر الطبيعية. وثباتها دليل على موضوعية العالم الخارجي. غير أن هذه الموضوعية لا يمكن بلوغها كاملة، وإنما يحاول الانسان بلوغ أكبر قسط منها، ووسيلته في ذلك تنويع المبادىء والصور الذهنية.**

هنا يتميز بوانكاريه، بعض الشيء، عن مجموع الاتجاهات الوضعية، فهو يعترف مبدئياً بموضوعية العالم الخارجي، ولا يربطه بالإحساسات فقط. هناك واقع موضوعي تدلنا عليه العلاقات الثابتة (القوانين) ولكن هذا الواقع لا نستطيع الإمساك به كاملاً، بل فقط نجدّ ونسعى لبلوغه ولكن هيهات. يقول: لا يهدف العلم إلى السيطرة على الطبيعة واستغلالها وحسب، بل يرمي كذلك إلى فهمها. ولكن **حقيقة الطبيعة تبقى خفية علينا دوماً**، إذ كلما اقتربنا منها ابتعدت عنا. ومع ذلك فنحن نكوّن لأنفسنا، خلال جرينا وسعينا وراء حقيقة الطبيعة، صورة تقريبية تزداد دقة بتحسن معارفنا وتعديل نظريتنا. ولذلك يجب أن نسهر باستمرار على تعديل نظرياتنا، بل على انشاء نظريات جديدة تحل محل النظريات القديمة. ويجب أن لا يدفع بنا هذا إلى الشك، فالحقيقة الموضوعية موجودة وتعاقب النظريات علامة على أننا نقترب منها. هناك شيء ثابت، تارة نسميه حركة، وتارة نسميه حرارة وتارة نسميه قوة. . . إن الذي يتغير هو هذه الأسماء التي نطلقها على ذلك الشيء الثابت الذي

يشكل حقيقة الطبيعة. هي تتغير لأنها مجرد أسماء تتفق عليها، إنها مواضعات تستعملها كأدوات مؤقتة قصد الوصول إلى الحقيقة التي ننشدها، ولكن الهاربة منا دوماً[4].

ج ـ لوروا والنزعة الاسمية

من الاتجاهات الوضعية التي تكتسي صبغة خاصة اسمية لـوروا Edouard le Roy (١٨٧٠ ـ ١٩٥٤)، تقول عن هذه الاسمية Nominalisme إنها وضعية إذا نظرنا إليها فقط من خلال تصورها للقوانين والمفاهيم العلمية. أما إذا نظرنا إليها من جانبها الفلسفي فإننا سنجدها نزعة حدسية براغماتية ذات ميول روحية.

والبراغماتية Pragmatisme في المعنى العام نظرية فلسفية ترى أن الوظيفة الأساسية للعقل، ليست تقديم معرفة عن الأشياء، بل مساعدتنا على التأثير فيها، وهي في هذا تقف على طرفي نقيض مع النزعة الحدسية، والفلسفة البراغماتية في الأصل فلسفة انكلوسكسونية (وليم جيمس خاصة) تربط الحقيقة بالمنفعة، **فالفكرة الحقيقية هي الفكرة الناجحة**. والعقل لا يبلغ مبتغاه إلا إذا تمكن من أن يحملنا على القيام بعمل فعال ومفيد. **ولذلك فالفكرة لا تكون ناجحة لأنها حقيقية، بل تصبح حقيقية عندما تنجح**. وقد قام في فرنسا تيار براغماتي كان برغسون ولوروا من أبرز ممثليه. وقد أطلق هذا الاسم على فلاسفة الفعل، خاصة في الميدان الأخلاقي والديني. فالحقيقة الدينية والأخلاقية تكتسبان بالفعل والممارسة، لا بالتأمل والنظر (= مارس التدين أولاً، ثم يأتي الايمان بعد ذلك، لأن الحقيقة الدينية في متناول الجميع).

وما يهمنا هنا من اسمية لوروا هو آراؤه المتعلقة بالمعرفة العلمية. لقد عارضت النزعة الاسمية الكلاسيكية (في القرون الوسطى) اضفاء أي نوع من الوجود الموضوعي على الكليات الفكرية والمفاهيم العامة (وذلك على خلاف النزعة الواقعية التي تتبنى جزئياً تصور أفلاطون للمثل). إن الكليات والمفاهيم في نظرها مجرد رموز أو أسماء تشير إلى الغامض من الأشياء كـ «الانسان» مثلاً. ذلك لأنه لا وجود لـ «الانسان» كمفهوم كلي، وإنما يوجد هذا الانسان الذي اسمه أحمد أو ابراهيم... فالأشياء كلها جزئية. تلك باختصار هي وجهة نظر الفلاسفة الاسميين. وأما في ميدان العلم، فترى النزعة الاسمية أن الحوادث العلمية، وبالأحرى القوانين والنظريات، هي من انشاء الفكر، وليست تمثلاً أو تصوراً للأشياء كما هي.

يمكن تلخيص اسمية لوروا في هذين التأكيدين:

---

(٤) لقد أدرجنا في قسم النصوص نصاً لبوانكاريه حول «القيمة الموضوعية للعلم» يلقي مزيداً من الضوء على آرائه في هذا الشأن. انظر كذلك كتابيه:

Henri Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, préface de Jules Vuillemin, science de la nature (Paris: Flammarion, 1968), et *La Valeur de la science*, préface de Jules Vuillemin, science de la nature (Paris: Flammarion, 1970).

● العالم هو الذي يخلق الحادث. وبما أن كل حادث علمي حادث ملفوف دوماً في قوانين، فإنه من المستحيل تعريف الحادث الخام وبالتالي لا يمكن البرهنة قط على موضوعية العلم.

● إن الأساس الذي يقوم عليه هذا «الخلق» للحادث العلمي من طرف العالم، هو المواضعة. ولذلك كان من غير المقبول وصف الحوادث العلمية بأنها صحيحة أو خاطئة، فهي فقط أدوات للعمل.

ويشرح لوروا نظريته هذه قائلاً[5]: إن القوانين العلمية تغير بالتدريج المعطيات الواقعية، فهي تعيد صياغتها وتشكيلها، مما يبعدنا أكثر فأكثر من الاتصال المباشر مع الطبيعة. وهكذا فينا تحتل الحوادث الطبيعية، في المرحلة الأولى، مجاع ادراكنا ووعينا، تتحول إلى مادة تصنع منها القوانين. وتظل هذه القوانين ـ في المرحلة الأولى ـ بمثابة رموز لتلك الحوادث. ولكن بمجرد ما تتمكن من صياغة هذه القوانين ينقلب الوضع، فتصبح القوانين، التي كانت من قبل رموزاً للأشياء، أساساً تقوم عليه هذه الأشياء التي تصبح حينئذ مجرد رموز للقوانين، وبعبارة أخرى تصبح الأشياء مجرد نقطة التقاء القوانين المتضافرة.

ويلخص لوروا آراءه في النقطتين التاليتين:

أ ـ ليس القانون العلمي مجموعة كلية من الحوادث الطبيعية، ولا محصلة أو خلاصة لهذه الحوادث، بل إنه بناء رمزي يشيّد على هذه الحوادث، فهو يشكل الدرجة الثانية لعملية اضفاء المعقولية على الطبيعة.

ب ـ المقصود من القوانين هو تعويض الحوادث الطبيعية والحلول محلها بوصفها معطيات تكون موضوع تأمل لاحق.

هذا ومن المفيد أن نشير هنا إلى نقد بوانكاريه لاسمية لوروا هذه. يميز بوانكاريه في فلسفة لوروا بين النزعة اللاعقلية التي استوحاها من برغسون، وبين نزعته الاسمية، فيرفض تلك ويناقش هذه. وفي هذا الصدد يرى بوانكاريه أن هناك فعلاً حوادث خاماً هي احساساتنا وذكرياتنا، والحادث العلمي في نظره، ليس إلا الحادث الخام وقد ترجم بلغة ملائمة. وانشاءات العالم تنحصر في مستوى اللغة التي يعبّر بها عن الحادث، فهو لا يخلق الحادث ـ كما يقول لوروا ـ وإنما يخلق اللغة التي بها يعبر عن هذا الحادث. أما قواعد العمل فهي تنجح لأنها صحيحة، وليس العكس كما ترى البراغماتية التي ينتسب إليها لوروا.

نعم إن المبادىء توضع وضعاً، ولكن هناك إلى جانب هذا قوانين موضوعية لا تكذبها التجربة. وجانب المواضعة يتضاءل كلما انتقلنا من الهندسة إلى الميكانيكا ومن الميكانيكا إلى الفيزياء. وهكذا، فإذا كانت الهندسة مجرد لغة، فإن الفيزياء بالعكس من ذلك تقدم لنا صورة عن العالم نفسه. نعم إن مدلول مجموع قوانين الطبيعة يتغير بتغير مواضعاتنا، ولكن

---

(٥) انظر مقالة لوروا بعنوان «العلم والفلسفة» في: *Revue de métaphysique et de morale* (1899).

هذا التغير، إذا كان يعدل حتى من العلاقات القائمة بين القوانين، وهذا ما يحصل فعلاً، فإن هناك، مع ذلك، شيئاً يبقى، شيئاً مستقلاً عن هذه المواضعات، ويقوم بدور اللامتغير الكوني L'Invariant Universel. إن القوانين الطبيعية، هي قوانين الامكان، لا قوانين الضرورة، بمعنى أنها حقائق الواقع، لا حقائق العقل، وليست كما يقول لوروا متوقفة على الشكل الذي نختار به المبادىء. وهكذا يتضح ما قلناه قبل، من أن بوانكاريه يلح على موضوعية الحقائق العلمية من جهة، وعلى عدم ربط العلم بالمنفعة من جهة أخرى، فالعلم يهدف إلى المعرفة، أولاً وقبل كل شيء. وإذا كان العلم نافعاً فلأنه حقيقي وليس العكس كما تقول النزعة البراغماتية. ولذلك ينادي بوانكاريه بـ «العلم من أجل العلم»[٦].

٢ ـ الاتجاه العقلاني ـ التفسيري

أ ـ ماكس بلانك والعوالم الثلاثة

من بين العلماء الذين ناهضوا هذه الاتجاهات الوضعية، العالم الألماني مكتشف الكوانتا ماكس بلانك Max Planck (١٨٥٨ ـ ١٩٤٧). يرى بلانك[٧] أن مصدر المعرفة وأصل كل علم هو التجربة. فالتجربة هي المعطى المباشر والواقع الحقيقي الذي يمكننا تصوره أكثر من غيره، وهو النقطة التي يمكن أن نربط بها منظوماتنا الاستقرائية الاستنتاجية التي تشكل العلم. ولكن، هل يكفي حصر العلم في مهمته، الربط بين مختلف الملاحظات الطبيعية التي تنقلها إلينا حواسنا عن العالم الخارجي، ربطاً دقيقاً نتوخى فيه أكثر ما يمكن من الدقة، بواسطة قوانين نلتزم فيها أكثر ما يمكن من البساطة؟ وبعبارة أخرى هل تقدم الوضعية، التي تنادي بذلك، الأسس المتينة القادرة على حمل صرح الفيزياء بأكملها؟ للجواب عن هذا السؤال، لا بد ـ في نظر بلانك ـ من السير مع دعوى الوضعيين إلى نهايتها لنرى إلى أين تقودنا الوضعية. إن ربط المعرفة العلمية بالمعطيات الحسية شيء بديهي، ولكن حصر المعرفة العلمية، وبالتالي العلم كله، في هذه المعطيات، وهي نتيجة تجارب شخصية، يؤدي إلى هدم العلم، وإلغاء موضوعية الفيزياء.

هنا حقيقتان تنطلق منهما الفيزياء، وهما: (١) يوجد عالم خارجي مستقل عنا، (٢) إن هذا العالم الخارجي غير قابل للمعرفة بكيفية مباشرة، لأن كل ما نعرفه عنه هو ما تنقله إلينا حواسنا. والوضعيون يقولون إن ها هنا قضيتين متناقضتين، لا بد أن تكون إحداهما صادقة والأخرى كاذبة. والصادقة هي القضية الثانية لأن كل ما يمكننا معرفته هو معطيات التجربة. والواقع ـ يقول بلانك ـ إنه ليس هناك أي تناقض بين القضيتين المذكورتين. ذلك لأن هدف العالم الفيزيائي هو معرفة العالم الخارجي الواقعي، العالم الذي يقف وراء عالم احساساتنا تجاربنا. وبما أن الباحث الفيزيائي لا يتوفر على وسائل أخرى غير ما تمده به تجاربه وقياساته،

---

(٦) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, et *La Valeur de la science*.

(٧) Max Karl Ernst Ludwig Planck, *L'Image du monde dans la physique moderne*, méditation (Paris: Gautier, 1963).

فإنه ينشيء لنفسه صورة عن هذا الذي تمدّه به التجربة والذي هو - كما يقول هيلمولتز - بمثابة رموز عليه أن يعمل على فكها واعطائها معنى. إن موقف الباحث الفيزيائي، في هذا الصدد أشبه ما يكون بموقف العالم الفيلولوجي الذي يجتهد في فك معميات وثيقة قديمة تتعلق بحضارة مجهولة. فإذا أراد هذا الأخير الوصول إلى نتيجة ما فلا بد له من أن يفترض كمبدأ، أن هذه الوثيقة تحمل معنى ما. وكذلك الشأن بالنسبة إلى الفيزيائي، فلا بد له أن ينطلق من التسليم بوجود عالم خارجي واقعي يقف وراء الظواهر الحسية التي تربط بيننا وبينه. وبدراسة هذه الظواهر ومقارنة بعضها ببعض، وبصياغتها في قوانين، ينشيء الباحث الفيزيائي عالماً فيزيائياً يحرص فيه على أن يمده بنفس المعطيات التجريبية إذا هو وضعه مكان العالم الواقعي الحقيقي. وإذن، هناك ثلاثة عوالم: **هناك أولاً، العالم الخارجي الواقعي الموضوعي الذي لا بد من التسليم بوجوده**، والذي لولا هذا التسليم بوجوده لما كان هناك علم. وتاريخ العلم يؤكد لنا ذلك، أن جميع الأبحاث العلمية قد انطلقت من هذا المنطلق. **وهناك ثانياً، عالم احساساتنا**، أي الظواهر الحسية والمعطيات التجريبية التي هي بمثابة اشارات ورموز تدلنا على وجود ذلك العالم الواقعي الحقيقي. **وهناك ثالثاً، عالم الفيزياء أي الصورة التي تقدمها لنا الفيزياء عن العالم**، وهذا العالم الفيزيائي هو، على العكس من العالمين الآخرين، من إنشاء الفكر البشري، ويحاول دوماً الاستجابة لمتطلبات معينة، ولذلك كان عالماً يتغير باستمرار، ويتحسن باستمرار. أما وظيفته فيمكن النظر إليها من زاويتين: زاوية العالم الخارجي الواقعي، وزاوية عالم الاحساسات والظواهر، فإذا نظرنا إليه من الزاوية الأولى قلنا إن مهمته هي تمكيننا من الحصول على معرفة كاملة، بقدر الإمكان عن العالم الواقعي. أما إذا نظرنا إليه من الزاوية الثانية فإن وظيفته ستكون منحصرة في تقديم وصف بسيط بقدر الامكان، عن عالم الاحساسات. ومن العبث الاختيار بين هاتين الزاويتين، أو الوظيفتين، لأن الواحدة منهما، إذا أخذت بمفردها، لا تكفي قط. إن الفلاسفة الميتافيزيقيين ينطلقون فقط من الزاوية الأولى ويغفلون الزاوية الثانية، أما الوضعيون فهم، بالعكس من ذلك ينطلقون من الزاوية الثانية ويغفلون الزاوية الأولى. وهناك فريق ثالث وهم الفيزيائيون ذوو النزعة الأكسيومية، هؤلاء لا يهتمون أساساً بربط عالم الفيزياء وعالم الاحساسات بالعالم الواقعي، وإنما يوجهون كل عنايتهم إلى ابراز الانسجام داخل عالم الفيزياء، أي الكشف عن منطقه الداخلي. إن عمل هؤلاء مهم، ما في ذلك شك، ولكن هناك خطر يرافق محاولاتهم الأكسيومية هذه، ويتمثل خاصة في افراغ عالم الفيزياء من مادته وتحويله إلى صورة بدون محتوى.

هناك، إذن، ثلاثة اتجاهات رافقت الفيزياء الحديثة: الاتجاه الذي يقرأ في العالم الذي يشيده الانسان عن الواقع، الصورة الحقيقية لهذا الواقع، وهؤلاء هم الفلاسفة الميتافيزيقيون، والاتجاه الذي يقرأ في عالم الفيزياء صورة عالمنا الحسي، وهؤلاء هم الوضعيون، وأخيراً الاتجاه الذي يحصر نفسه في العالم الفيزيائي محاولاً اكتشاف منطقه الداخلي وإبراز تناسقه واتساق أجزائه، وهؤلاء هم الأكسيوميون. أما ماكس بلانك فهو يرى أن هدف العلم هو تقديم صورة كاملة وصحيحة عن الواقع الموضوعي، الواقع بالمعنى

الميتافيزيقي، ولكن العلم لا يستطيع تقديم مثل هذه الصورة، لأن كل ما يستطيع العلم فعله هو تقديم صورة مستخلصة من التجربة وعالم الظواهر، صورة تبقى تقريبية دوماً. ولكن يجب، في نظره، أن لا نقف عند هذا الحد، فليس العالم الحسي هو وحده العالم الوحيد الذي يمكننا تصوره، بل هناك عالم اخر، تدلنا على وجوده الحوادث المختلفة، الحوادث اليومية العادية، والحوادث العلمية. وهذا العالم الخفي الذي يقدم لنا نفسه باستمرار، بواسطة تلك الحوادث، هو الهدف الأخير الذي يجري وراءه العلم. والاختلاف بين موقف الفيلسوف وموقف العالم يتلخص في كون الأول يجعل هذا العالم «الخفي» منطلقاً له، في حين أن الثاني يضعه هدفاً أمامه.

ب ـ أميل ميرسون وليون برانشفيك

ومن الفلاسفة الفرنسيين الذين خاضوا في هذا النقاش حول طبيعة النظرية الفيزيائية ووظيفتها، ودور المعرفة العلمية بصفة عامة، اميل ميرسون Emile Meyerson (١٨٥٩ ـ ١٩٣٣) وليون برانشفيك Léon Brunschvicg (١٨٦٩ ـ ١٩٤٤).

يرى ميرسون[٨] أن الفكر البشري لا يقنع، بطبيعته، بوصف الظواهر، بل ينشد الأسباب دوماً. وتاريخ العلم يرينا بوضوح أن تفسير الحوادث كان دوماً على رأس المشاكل التي اهتم بها العلم والعلماء. وهذه الرغبة الجامحة التي تسيطر على الفكر البشري والتي تجعل النظرية الفيزيائية تهتم بتفسير الحوادث، تتجلى ليس فقط في اندفاعنا المستمر نحو مزيد من البحث، بل أيضاً في ذلك الاطمئنان الداخلي الذي نشعر به عندما نتوصل إلى تفسير معين للحوادث. إن هذا الاطمئنان هو وحده الذي يشبع تلك الرغبة.

على أن المسألة، في نظر ميرسون، ليست مسألة رغبة فقط، بل هي مسألة واقع أيضاً. ذلك لأن التفسير في العلم أصبح حقيقة لا يمكن تجاهلها، ففي كل كتاب، ولدى كل باحث نجد هذا الميل إلى التفسير، إلى اقامة نظريات تفسيرية. وإذا نحن قمنا باستقراء لعمل العلماء توصلنا إلى هذه النتيجة، وهي أن القوانين لا تكفي وحدها لتفسير الظواهر. هذا ما يشعر به الرجل العادي والعالم المختص، سواء بسواء. إن القوانين تقوم بدور مهم في العلم، هذا ما لا شك فيه، إنها تمكننا من التنبؤ والسيطرة على الواقع. ومع ذلك فهي وحدها لا تكفي الفكر البشري الطموح بطبعه، لا تشبع ميله الدائم نحو تفسير الظواهر ومعرفة كيفية حدوثها وأسبابها. . .

أما برانشفيك الفيلسوف صاحب «الفلسفة العقلانية العلمية»[٩]، فلقد كان مؤمناً بالعلم متحمساً له، معارضاً للنزعات الوضعية والنزعات البراغماتية والروحية وكل الاتجاهات

---

(٨) Emile Meyerson, *De l'explication dans les sciences* (Paris: Payot, 1921).

(٩) Louis Lavelle, *La Philosophie française entre les deux guerres* (Paris: Aubier, 1942), p. 177.

التي تنال بكيفية أو أخرى من العقل أو من الحقيقة العلمية التي تمدّنا بها الفيزياء الرياضية، والتي هي في نظره أعلى الحقائق وأسماها وأكثرها استحقاقاً لحمل هذا الاسم.

يعارض برانشفيك الاتجاهات الوضعية بشدة، ويرى أن عالم التجربة المباشرة لا يضم أكثر مما يقدمه العلم، بل بالعكس من ذلك، إنه عالم فقير وسطحي «عالم النتائج بدون مقدمات» كما يقول سبينوزا. وعلى الرغم من أن التجربة ضرورية لنا للاتصال بالعالم الواقعي، فهي لا تكفي وحدها. إن ما هو مهم في «الكشف» العلمي يعود إلى تفسير الحوادث، لا إلى مجرد استعراضها. والتجربة لا تملي علينا نوع التفسير الواجب اقتراحه، بل إنها لا تستطيع أن تفصل في الفرضيات بكيفية نهائية، فليست هناك تجربة حاسمة كما ادعى بيكون، وتاريخ العلم يشهد على ذلك. وإذن فإن دور العقل مهم وأساسي، والمعرفة العلمية تجدد العقل بما تفرضه عليه من احتكاك متواصل مع الطبيعة، الشيء الذي يمكنه من انشاء آفاق جديدة وبناء عوالم تزداد رحابة بازدياد نمو قدرة العقل على الحكم على الأشياء. إن نمو العقل ونمو العوالم التي ينشئها العقل بواسطة التجربة يتمان بشكل متساوق، العقل ينمي المعرفة العلمية، والمعرفة العلمية بدورها تنمي قدرات العقل على التصور والحكم.

من هنا يتضح أن برانشفيك إذ ينتقد التجريبية بمختلف أشكالها لا يتبنى العقلانية الكلاسيكية كما هي، بل إنه ينتقد كذلك جميع الآراء التي تعتقد أن النظرية الفيزيائية الرياضية يمكن أن تنمو وتتطور بواسطة المبادىء وحدها، دون تدخل المادة الطبيعية. لقد فشلت المحاولات التي كانت تهدف إلى تطبيق القواعد الميكانيكية العامة على قضايا الفيزيائية الجزئية. إن تغطية جميع الحوادث الجزئية يتطلب مضاعفة عدد الفرضية الأولية مضاعفة مستمرة، وإلّا بقي النظام النظري صورياً محضاً لا علاقة له بالواقع.

وبالجملة يعارض برانشفيك الاتجاهات العقلانية التقليدية، والاتجاه الأكسيومي في الفيزياء، والنزعات الوضعية باختلاف ميولاتها، والاتجاهات الروحية ذات النزعة الصوفية، وفي مقابل ذلك كله يحاول بناء نظرية في المعرفة تقوم على الربط بين ابداعات الفكر وعمليات التحقيق التجريبي، في إطار مثالية ذات طابع خاص، مثالية تربط الوجود بالمعرفة وتحصر مهمة الفلسفة في «معرفة المعرفة» أي في نقد المعرفة[10].

خامساً: مشكلة الاستقراء

يمكن القول، بصفة عامة، إن جميع المناقشات التي عرضنا لها في هذا الفصل والفصل السابق، والتي كانت تدور حول المعرفة العلمية وحدودها والنظرية الفيزيائية ووظيفتها، كانت تطرح، صراحة أو ضمناً، مشكلة قديمة ـ جديدة، منطقية ـ فلسفية ـ ابستيمولوجية، مشكلة الاستدلال التجريبي بوجه عام، وأساس الاستقراء بوجه خاص. والاسمان، في الحقيقة، لمسمى واحد.

---

(١٠) Léon Brunschvicg, *L'Expérience humaine et la causalité physique* ([s.l.: s.n.], 1922).

لقد كانت الآراء السابقة تنظر إلى هذه المشكلة من الداخل أي من داخل العمل العلمي ذاته. وبعبارة أخرى كانت القضية مطروحة على مستوى الابيستيمولوجيا الداخلية أو الخاصة. أما الآن فسنعرض لنفس المشكلة من الخارج، أي على مستوى الابيستيمولوجيا الخارجية أو العامة. كانت الاشكالية المطروحة على المستوى الأول تتلخص في هذا السؤال: **كيف تتكون المعرفة العلمية؟** وذلك ما عالجناه في الفصول السابقة حينما استعرضنا خطوات المنهاج التجريبي وخصائصه، وبنيانه الداخلي وأسسه العامة، متنقلين هكذا، من الوصف الخارجي للمنهاج التجريبي إلى تحليل عملياته وهيكله الداخلي العام، إلى مناقشة أسسه ومرتكزاته. غير أن «مشكلة الأساس» هذه، قد عرضنا لها في هذا الفصل والفصل السابق في اطار أعم، اطار «الوقوف عند القوانين أو البحث عن الأسباب» من جهة، والنظرية الفيزيائية وحدودها ووظيفتها من جهة ثانية.

أما الاشكالية المطروحة على المستوى الثاني، وهي ذات طابع فلسفي واضح، فتصاغ عادة كما يلي: **ما الذي يجعل العلم ممكناً؟** لماذا تنجح مناهجه؟ لماذا تتوافق الظواهر الطبيعية مع طريقتنا في التفكير؟ أو لماذا تبقى الطبيعة خاضعة، أو على الأقل متوافقة، مع القوانين التي نستخلصها منها؟ إنها الاشكالية التي طرحها كانت وحاول حلها في كتابه **نقد العقل الخالص**.

نعم إن هذه الإشكالية تطرح في عموميتها مشكلة علاقة الفكر بالواقع، وذلك ما عالجناه في الفصلين الرابع والخامس من هذا الكتاب، غير أن المسألة الأساسية المطروحة هنا، في مجال البحث التجريبي، هي أخص من ذلك. إنها مشكلة «أساس الاستقراء». فماذا تعنيه هذه المشكلة؟

يميز عادة في الاستدلال بين الاستدلال الاستنتاجي Raisonnement deductif والاستدلال الاستقرائي Raisonnement inductif. والأساس الذي يقوم عليه النوع الأول هو مبدأ الهوية أي اتساق الفكر مع نفسه، وعدم تناقضه. وبما أن الاستدلال الاستنتاجي يتناول صورية الفكر، فإن التقيد بمبدأ الهوية يكفي لضمان صحة النتائج، من الناحية الصورية طبعاً. ولكن الاستدلال الاستقرائي يتناول معطيات التجربة، فهو انتقال من حوادث جزئية إلى قانون عام. الحوادث الجزئية موجودة في الطبيعة أما القانون العام فهو من إنشاء الفكر. وهنا تطرح مشكلتان ابيستيمولوجيتان: المشكلة الأولى، هي مشكلة الأساس الذي نعتمد عليه في عملية الاستقراء التي تقفز بنا إلى القانون العام. والمشكلة الثانية هي مشكلة الضمان الذي يضمن عملية القفز هذه، أي الانتقال من الجزئي إلى الكلي، من الحوادث الفردية إلى القانون العام. وبعبارة أخرى تطرح مشكلة «أساس الاستقراء» مسألتين من مستويين مختلفين:

١ ـ المسألة الأولى منطقية ابيستيمولوجية، يمكن التعبير عنها كما يلي: ما هي المبادىء الأخرى ـ غير المبادىء المنطقية الخاصة بالاستدلال الاستنتاجي ـ التي يرتكز عليها الاستدلال

التجريبي (= الاستقرائي). وإذا كانت هذه المبادىء متعددة فكيف يمكن ارجاعها إلى نوع من الوحدة؟

٢ ـ المسألة الثانية فلسفية محض، وتتلخص في السؤال التالي: ما الذي يسمح لنا باعتبار هذه المبادىء مبادىء صادقة. وماذا يؤسس صدقها في نفوسنا؟[١١].

لقد طرحت هذه المشكلة، في مظهرها الفلسفي، أول ما طرحت، في الفكر الاسلامي، وذلك أثناء المناقشات الكلامية التي دارت بين الأشاعرة والفلاسفة. وكان أبو حامد الغزالي أول من طرح المشكلة بعمق في مناقشته لأدلة الفلاسفة حول مسائل ميتافيزيقية تتعارض ـ ظاهرياً على الأقل ـ مع المنظور الاسلامي[١٢]. غير أن الاطار الذي طرحت فيه لم يؤد إلى أي استنتاج بل بقيت محدودة بحدود هذا الاطار. أما في العصر الحديث فلقد كان دافيد هيوم D. Hume (١٧١١ ـ ١٧٧٦) أول من طرح المشكلة في اطار فلسفي معرفي[١٣]، اطار مبدأ السببية بوصفه يتضمن، في آن واحد، فكرة ثبات القوانين وفكرة عموميتها.

تساءل هيوم قائلاً: لماذا نعتقد في مبدأ السببية؟ إن فكرة ثبات القوانين الطبيعية واطرادها ليست فكرة حدسية، وليست كذلك نتيجة برهان منطقي. قد يقال إن الاستقراء نفسه مؤسس على مبدأ السببية؟ وإذن فلا يمكن تأسيس ثبات القوانين على الاستقراء لأن المشكلة المطروحة هي أساس الاستقراء نفسه! وأمام هذا المأزق لم يجد هيوم تفسيراً آخر للسببية غير ذلك الذي قال به الغزالي من قبل، أي إرجاعها إلى العادة والاقتران. لقد اعتدنا مشاهدة الحوادث يتلو بعضها بعضاً، فاستنتجنا من هذا الاقتران بين الحوادث ما نسميه «السببية» هذا في حين أنه لا شيء يجعل اقتران الحوادث، أي حدوث اللاحقة عند حدوث السابقة، اقتراناً ضرورياً. فحدوث الاحتراق يتم، حسب تعبير الغزالي، وهو نفسه ما قال به هيوم، عند وجود النار، لا بوجودها.

لقد نقل هيوم، إذن، السببية من ميدان الحوادث الطبيعية إلى ميدان الفكر. فالرابطة السببية ـ وهي ترجع إلى العادة ـ قائمة بين أفكارنا، لا بين الظواهر، والضرورة ليست في الأشياء، بل في الفكر، وهكذا حوّل السببية الموضوعية إلى سببية ذاتية تقوم على توقع ما سيحدث في المستقبل على أساس ما جرى في الماضي. والمبدأ المتحكم في هذا التوقع هو «تداعي المعاني»، لا خضوع الطبيعة لقانون السببية. والنتيجة هي أنه لا شيء يضمن لنا اطراد صحة هذا التوقع، أي اطراد قوانين الطبيعة، وبالتالي لا شيء يؤسس العلم (شك هيوم).

---

(١١) Robert Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, collection U.; 16 (Paris: Armand Colin, 1969), p. 311.

(١٢) أبو حامد محمد بن محمد الغزالي، تهافت الفلاسفة، تحقيق موريس بويج؛ مع مقدمة لماجد فخري (بيروت: المطبعة الكاثوليكية، ١٩٦٢)، المسألة السابعة عشرة.

(١٣) D. Hume, *Enquête sur l'entendement humain*, traduction, André Le Roy (Paris: Aubier, 1947).

تلك هي النتيجة التي أيقظت كانت من سباته، فراح يبرهن على امكانية العلم، من الناحية المنطقية، بعد أن لاحظ أن الامكان الواقعي للعلم شيء تؤكده الرياضيات والعلوم الطبيعية. العلم موجود كواقع، ولا يبقى إلا البرهنة المنطقية على إمكانية وجوده، وهذه البرهنة تنطلق من تحليل المعرفة المنطقية على امكانية وجوده، وهذه البرهنة تنطلق من تحليل المعرفة العلمية قصد اكتشاف العنصر أو العناصر التي جعلتها ممكنة فعلاً.

ومن أجل الوصول إلى هذا الهدف يبدأ كانت بالتمييز بين «**أحكام التجربة**» و «**احكام الإدراك الحسي**» أي التمييز بين المعرفة العلمية، وبين **الانطباعات** الحسية التي تنقلها إلينا حواسنا فيلاحظ، بادىء ذي بدء، أن مصدر المعرفة العلمية، أو **التجربة** ـ بالمفهوم الخاص الذي يعطيه كانت لهذه الكلمة والذي سيتضح في ما يلي ـ هو تلك الانطباعات الحسية ذاتها، ولكن هذه وحدها **لا** تكفي بل **لا** بد من اضافة أصيلة يقوم بها الفهم (أو الذهن) لتتحول الاحساسات إلى معرفة ـ أو تجربة. ذلك لأن ادراكاتنا الحسية **لا** تنتظم في تجربة، أي في شبكة من العلاقات يقبلها الجميع، إلا إذا خضعت **لبعض الشروط التي يفرضها الفكر على الروابط القائمة بين الأشياء. ومن هنا كان الفهم Entendement مشرعاً.**

وهذه الشروط هي عبارة عن مبادىء، هي في آن واحد، **تركيبة وقبلية**: هي تركيبة لأنها ليست صورية محض كالمبادىء المنطقية. وهي قبلية لأنها لا تستخلص من التجربة، بل هي شروط للتجربة. إن احكام العلم ـ أو قضاياه ـ احكام موضوعية يتفق الناس كلهم عليها. لماذا؟ لأنها تتضمن مبادىء قبلية وضرورية هي لها بمثابة **القوالب أو اللحام** (صورتا الزمان والمكان، والمقولات). أما العادة التي يقول بها هيوم فلا يمكن أن تؤسس ترابطاً موضوعياً، بل، فقط، ترابطاً ذاتياً للإحساسات.

تلك فكرة موجزة عن الحل الذي اقترحه كانت للمشكلة التي نحن بصددها، ولا نحتاج إلى التذكير هنا بأن كانت قد أسّس فلسفته على فيزياء نيوتن المبنية على فكرتي الزمان المطلق والمكان المطلق، ولا نحتاج كذلك إلى التذكير بأن الهندسات اللاأوقليدية من جهة، ونظرية النسبية من جهة أخرى، قد هدمت هذا الأساس الذي أسس عليه كانت فلسفته الترنسندنتالية هذه. وإنما نريد أن نشير فقط إلى أن محاولة «كانت» تنطوي على خطأ منطقي، وهذا ما كشفت عنه الانتقادات التي وجهت إليها من جانب المناطقة الوضعيين، وعلى رأسهم ريشنباخ Reichenbach.

يمكن صياغة محاولة كانت صياغة منطقية كما يلي:

١ ـ صحة الاستدلال الاستقرائي يلزم عنها اطراد قوانين الطبيعة.
٢ ـ قوانين الطبيعة مطردة لأنها أحكام تركيبية قبلية.
٣ ـ إن اطراد قوانين الطبيعة يلزم عنه صحة الاستدلال الاستقرائي.

هذا النوع من البرهنة ينطوي على خطأ منطقي في نظر ريشنباخ والمناطقة الوضعيين عموماً. والقضية يطرحونها على هذا الشكل: إذا كانت قضية ما تستلزم قضية أخرى، فإن

فساد القضية الثانية يستلزم فساد القضية الأولى، ولكن صحة الثانية لا تستلزم ضرورة صحة الأولى. وبعبارة أخرى: إذا كان فساد النتائج يؤدي إلى فساد المقدمات، فإن صحة النتائج لا تؤدي ضرورة إلى صحة المقدمات. فكم من نتائج صحيحة استنتجت من مقدمات فاسدة. هذه قاعدة منطقية أساسية، في نظر المناطقة الوضعيين، لم يحترمها كانت. فهو يستنتج من كون صحة الاستدلال الاستقرائي يستلزم اطراد قوانين الطبيعة، إن اطراد قوانين الطبيعة - الذي اعتقد أنه برهن على ضرورته - يستلزم صحة الاستدلال الاستقرائي. وبعبارة أخرى يستنتج من «صحة» النتيجة، وهي «اطراد قوانين الطبيعة»، «صحة» المقدمة وهي «صحة الاستدلال الاستقرائي». وهذا غير صحيح ضرورة. والنتيجة هي أن المشكلة التي طرحها هيوم بقيت، كما كانت، بدون حل.

من هنا يتضح لنا لماذا يعارض الوضعيون الجدد النظريات التفسيرية ويحصرون وظيفة النظرية الفيزيائية في دمج القوانين الطبيعية بعضها مع بعض وإرجاعها إلى أقل عدد ممكن من العبارات الرياضية البسيطة والواضحة. ذلك لأن المعرفة العلمية معرفة تجريبية، ليست ضرورية ولا يقينية لأن أساسها هو الاستقراء والاستقراء يعطينا احتمالات وترجيحات، لا معارف يقينية. ولذلك كان العلم يصف ولا يفسر.

ولكي يتجنب المناطقة الوضعيون السقوط في الشك الذي وقع فيه هيوم، يحاولون تبرير الاستقراء، لا البرهنة على صحته. وبالتالي يطرحون قضية السببية في اطار مرن أوسع، اطار الاحتمالات والاحصاء. يقول بيرس Peirce «إن ما يعطي للاستدلال الاستقرائي قيمته هو أنه يستعمل طريقة من شأنها، إذا ثابرنا على اتباعها بكيفية مرضية، أن تقودنا، بقوة طبيعة الأشياء نفسها إلى نتيجة تقترب، مع طول الزمن من الحقيقة اقتراباً متزايداً»[١٤]. إن هذا يعني أننا لا نستطيع تأسيس الاستقراء تأسيساً برهانياً، لأن كل ما بإمكاننا فعله هو تبرير استعماله، وذلك بالنظر إليه كأحسن وسيلة نملكها، وتمكننا من توقع الحوادث، وأنه علاوة على ذلك يعمل هو نفسه على تصحيح نفسه باستمرار.

وإلى مثل هذا الرأي يذهب ريشنباخ، فهو يرى أنه إذا كان من المستحيل، كما يقول هيوم، البرهنة على صدق الحكم الاستقرائي، فلا أقل من تبريره، حتى لا نتوقف كما توقف هيوم. أما كيفية هذا التبرير فيشرحها ريشباخ كما يلي:

الحكم الاستقرائي - في نظره - شبيه بالرهان. فالمراهن لا يراهن اعتباطاً، بل على أساس ما يتوفر عليه من المعلومات حول موضوع الرهان. وهذه المعلومات هي نفسها التي تبرر أيضاً القوة التي يراهن بها: فإذا اتضحت لديه حظوظ النجاح، ذهب في الرهان إلى مدى بعيد، والعكس بالعكس. وهكذا فموقفنا من الطبيعة يشبه تماماً موقف المراهن في سباق الخيل: إن كثرة المعلومات الصحيحة التي نتوفر عليها هي التي تدفعنا إلى الاعتقاد في

---

(١٤) ذُكر في: Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 315.

صحة الحكم الاستقرائي، ولكن ذلك لا يعني اليقين، بل الرجحان فقط. ويجب أن لا ننسى أبداً أن الحقيقة التجريبية ليست سوى درجة عالية من الاحتمال، وأن الخطأ التجريبي ليس سوى درجة من الاحتمال منخفضة.

إن نظرية الاحتمالات قد أدت - يقول ريشنباخ - إلى احداث تحول عميق في تفسير القضايا العلمية. إن القضية التي تتعلق بحادثة يحتمل حدوثها، لا يمكن تأكيدها كقضية حقيقية، ومع ذلك فنحن نأخذ بعين الاعتبار مثل هذه الحقيقة عندما يتعلق الأمر بشاغلنا في المستقبل، وهذا راجع إلى أننا مضطرون للعمل، وأننا لا نستطيع انتظار الحادثة حتى تحدث، بل إننا نجد أنفسنا ملزمين باتخاذ قرار بشأنها قبل حدوثها، وبالتالي سيكون علينا أن نبني تصرفاتنا على هذه القضية المحتملة.

إن هذا التصور الجديد للطابع المنطقي للقضايا العلمية يفتح لنا باباً واسعاً لمعالجة المشكلة الأساسية، مشكلة الاستقراء. وهكذا فإذا تخلينا عن طلب الحقيقة كاملة، وإذا أمسكنا عن النظر إلى القضايا التجريبية بوصفها قضايا صحيحة، فإننا سنجد أنفسنا أمام امكانات كبيرة لتبرير الاستقراء، هذا التبرير الذي فشل الفلاسفة العقليون في اقامته. إن الاستقراء يقدم لنا درجة احتمالية تدفعنا إلى المراهنة بهذا المقدار أو ذاك. إن مقدار الرهان هو نفسه درجة الاحتمال.

ويميز ريشنباخ بين التبرير الانطولوجي والتبرير الابيستيمولوجي لمبدأ الاستقراء وهو يرى أن هيوم قد برهن عن استحالة التبرير الانطولوجي أي استحالة البرهنة على كون الحكم الاستقرائي يعبر فعلاً عن واقع طبيعي. أما نحن - يقول ريشنباخ - فننظر إلى المسألة من زاوية ابيستيمولوجية، ونحاول تبرير معرفتنا بالطبيعة. يقول ريشنباخ إن الأطروحة التي نداقع عنها يمكن صياغتها بالشكل التالي:

«إن امكانية التنبؤ تفترض امكانية تصنيف الحوادث بشكل يجعل تكرار عملية الاستقراء يؤدي إلى النجاح. وبناء على هذا فإن قابلية المنهاج الاستقرائي للتطبيق هي الشرط الضروري لإمكانية التنبؤات. ويمكن القول أيضاً: إذا كانت التنبؤات ممكنة، فإن الطريقة الاستقرائية هي الشرط الكافي للحصول عليها. قد تكون هناك طرق أخرى تمكن من التنبؤ، ولكننا لا نعرفها، ولذلك كان الاستقراء بالنسبة إلينا هو المنهاج الضروري للحصول على تنبؤات»[(١٥)].

على أساس هذه الرغبة في تبرير الاستقراء وبدافع منها عمد المناطقة الوضعيون إلى انشاء «منطق للاستقراء»، هدفه لا بيان الطريقة أو الطرق التي تمكن من الانتقال من

---

(١٥) Hans Reichenbach, «Causalité et induction,» *Bulletin de la société française de philosophie* (juillet-septembre 1937), pp. 138-144;
هانز ريشنباخ، **نشأة الفلسفة العلمية**، ترجمة فؤاد زكريا (القاهرة: دار الكتاب العربي، ١٩٦٨)، و
Carl Gustav Hempel, *Eléments d'épistémologie*, traduction de Bertrant Saint-Sernin, collection U_2; 209 (Paris: Armand Colin, 1972).

الحوادث الجزئية إلى القانون العام، أو من الفرضية إلى القانون، انتقالاً يقينياً، كما حاول بيكون وجون ستيوارت ميل من قبل، ولا البرهنة على الصدق المادي لنتائج المقدمات، ولا صياغة القواعد التي تكتشف بها القوانين... الخ. كلا. إن هدف «المنطق الاستقرائي» هو ـ كما يقول كارناب ـ تبرير الفرضيات التي يقع عليها الاختيار، على أساس المعطيات التجريبية التي بنيت عليها. إن موضوع هذا المنطق الاستقرائي ليس هذه المعطيات نفسها، ولا الفرضية التي تنسجم معها، بل العلاقة بينهما، أي البحث في مدى التبرير الذي تقدمه المعطيات الفرضية. وبعبارة أخرى إن موضوع المنطق الاستقرائي هو العلاقة المنطقية التحليلية المحض التي تقوم بين قضيتين أو مجموعتين من القضايا، العلاقة التي لا يتوقف صدقها على الحقيقة التجريبية للقضيتين فقط بل على العلاقة الصورية القائمة بينهما. ومن ثمة فإن ما يهتم به هذا المنطق، بالدرجة الأولى، هو نوع التأكيد المنطقي الذي تقدمه النتيجة للمقدمة.

وفي هذا الصدد يميز كارناب بين ثلاثة أنواع من التأكيد:

أ ـ **التأكيد الايجابي**. فعندما نقول مثلاً، إن «ع تؤكد ل» أو «ل تعتمد على ع» فلا نعني بذلك سوى تأكيد العلاقة بين «ع» و «ل» لا بيان خصائص كل منهما.

ب ـ **التأكيد بالمقارنة**، وذلك بالمقارنة بين فرضية ونتيجة وفرضية أخرى ونتيجة مثل: ع تؤكد ل مما تؤكد غ، ل، وأيضاً المقارنة بين فرضيتين ونتيجتين، أو بين نتيجة وفرضيتين، أو بين نتيجتين وفرضية.

ج ـ **التأكيد الكمي**، وهو إعطاء التأكيد مقداراً عددياً، وذلك بالقول مثلاً، إن هذه النتائج تؤكد هذه الفرضيات بنسبة مئوية معينة.

هذا المنطق الاستقرائي يريد له كارناب أن يكون أساساً منطقياً للإحصاء عندما يبلغ الاحصاء كعلم درجة عالية من التقدم، مثلما أن المنطق الاستنتاجي الذي أسسه راسل وهوايتهيد قد «أصبح» أساساً للرياضيات[16].

هل سينجح منطق كارناب الاستقرائي في ما فشل فيه منطق راسل الاستنتاجي؟

لنكتف بالقول هنا إن المنطق لا يؤسس العلم، بل ينظمه وينسق بين أجزائه. لقد فشلت محاولة راسل في تأسيس الرياضيات على المنطق، لأن المنطق لا يمكن أن يقدم للرياضيات عنصراً خصوبياً. والمنطق الاستقرائي الذي أسسه كارناب لا يكفي لتأسيس العلم، لأن العلم يقوم على الاكتشاف، على الابداع والخيال، ولا يتدخل المنطق إلا لتنظيم هذه المكتشفات ونقدها.

يبقى بعد ذلك أن العلم لا بد له من منطلقين:

---

(١٦) انظر نصاً لكارناب في: Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, pp. 355 ff.

ـ الاعتقاد في وجود العالم الخارجي وجوداً واقعياً مستقلاً عن الذات والاحساسات والقوالب الفكرية.

ـ الاعتقاد في اطراد قوانين الطبيعة وثباتها.

دون هذين الشرطين لن يكون هناك علم. أما كيف نبني موضوعية العالم الخارجي وكيف نحل مشكلة اطراد قوانين الطبيعة فتلك قضية عالجناها في الجزء الأول (تطور الفكر الرياضي)، الفصل الخامس، في ضوء الأبحاث المعاصرة في الذبات ونظرية الزمر.

القسم الثاني

تطور الأفكار في الفيزياء



لعل أهم مشكل تمحورت حوله الأفكار في الفيزياء ـ الكلاسيكية منها والحديثة ـ خلال جميع مراحل تطورها: مشكل المتصل والمنفصل. نعني بذلك طبيعة تركيب المادة بمختلف تجلياتها («المادة الصلبة»، الحرارة، الكهرباء، الضوء)، هل تقوم على الاتصال، أم على الانفصال؟ هل تقبل التجزئة إلى ما لا نهاية له، أم أنها تنحل في الأخير إلى أجزاء لا تتجزأ؟

وهكذا يمكن القول، بصفة اجمالية، إن تاريخ الأفكار والنظريات في العلوم الطبيعية هو تاريخ الصراع بين هذين التصورين المتباينين المتعارضين. وقد قامت الفيزياء الحديثة على أساس محاولة «التوفيق» بينها ودمجهما في تصور واحد. وسنعالج في الفصل الخامس قصة هذا الصراع في الفيزياء الكلاسيكية، فيزياء ما قبل أوائل القرن العشرين، على أن نعالج في الفصل السابع قصة هذا الصراع نفسه في الفيزياء الحديثة، حيث اتخذ أبعاداً جديدة زعزعت العلم الكلاسيكي كله (الثورة الكوانتية)، وذلك بعد أن نعرج على نظرية النسبية التي سنخصص لها الفصل السادس الذي سيعالج مظهراً آخر من مظاهر تطور الأفكار في الفيزياء ذا صلة وثيقة بسياق تطورها العام.



الفصل الخامس

المتصل والمنفصل في الفيزياء الكلاسيكية

أولاً: مفهوم الاتصال والانفصال

تستعمل كلمة «متصل» Continu في اللغة العادية كوصف لشيء لا انقطاع فيه. نقول عن الصوت أو الحبل أو الشريط السينمائي إنه متصل، ونقصد بذلك أنه يشكل كلا واحداً، لا مجموعة أجزاء، على الرغم من علمنا أنه يقبل التجزئة إلى ما لا يحصى من الأجزاء.

وفي الاصطلاح الفلسفي تستعمل الكلمة في نفس المعنى تقريباً، غير أنها هنا قد تستعمل وصفاً لشيء أو اسماً لواقع معين، وفي كلتا الحالتين يقصد بها ما يشكل واقعاً، أو موضوعاً، غير ذي أجزاء متميزة كالامتداد عند ديكارت مثلاً.

وفي الرياضيات يميز بين الهندسة وموضوعها الكم المتصل والحساب وموضوعه الكم المنفصل. وقد عالجنا مشكل الاتصال الهندسي في الرياضيات في الجزء الأول من هذا الكتاب، سواء خلال العرض، أو خلال النصوص.

وعلى العموم، فالمتصل، واقع وحيد، يمتد ويسترسل إمّا في المكان وإمّا في الزمان، ليس فقط لأن أجزاءه متجاورة متلاحمة، بل لأنها أيضاً مشدودة إلى بعضها بعضاً بقوة. ذلك لأننا نفترض دوماً، كما يقول بوانكاريه، وجود رابطة بين عناصر المتصل، رابطة داخلية صميمة تجعل منه كلاً واحداً. وعلى العكس من ذلك الأشياء المتراكمة أو المصفوفة، فهي منفصلة Discontinue، ولا توصف بالاتصال على الرغم من تماسها، مثلها في ذلك مثل الحركات المتتابعة التي يصغر الفاصل بينها إلى أقصى حد. فالسبحة، مثلاً، تتألف من حبات ومن خيط ينتظم هذه الحبات. حبات السبحة تشكل واقعاً منفصلاً، لأنه لا يمكن أن تزيد في عددها أو تنقص منه إلاّ بوحدات كاملة، أي بحبات كاملة. أما الخيط الرابط بينها فهو متصل، لأنه من الممكن الزيادة فيه أو النقصان منه بمقادير صغيرة، دون أن يكون هناك حد لهذا الصغر، إذ يمكن أن يتصاغر المقدار إلى ما لانهاية له.

وإذا انتقلنا الآن إلى الفيزياء فإننا سنجد أنفسنا أمام نظريات متضاربة، تتناوب السيطرة في هذا الميدان أو ذاك، بعضها يعتمد مفهوم الاتصال وبعضها يستند على مفهوم الانفصال، الشيء الذي يعبر عنه في تاريخ العلم الحديث بـ «مشكل المتصل والمنفصل». فماذا يقصد، بالضبط، بهذا المشكل في ميدان الأبحاث الفيزيائية؟

يقول لوي دوبروي[1]: «إن مشكل المتصل والمنفصل هو مشكل ذلك «التعارض الكلاسيكي بين العنصر البسيط الذي لا يتجزأ، وبين المتصل القابل للقسمة. والعنصر البسيط غير القابل للقسمة هو، في العلم الحديث، ما يعبر عنه بالحبة: حبة من المادة، أو حبة من الضوء، كالنوترون والالكترون والفوتون. هذه الحبة تكشف لنا عن نفسها ككيان فيزيائي غير قابل للقسمة، قادر على أن يقوم، تارة، بإحداث رد فعل أو أثر يسري في حيز من المكان يمكن تحديده وضبطه بالتقريب، وطوراً بتبادل للطاقة أو للحركة أو للقوة (حين الاصطدام مع غيره من الكيانات المماثلة له)، مما يجعله يظهر كوحدة دينامية مستقلة. إنه العنصر المنفصل الذي يبدو أنه يشكل فعلاً، في أعماق العالم المتناهي في الصغر، الواقع النهائي والأخير. وبالعكس من ذلك الممتد المتصل القابل للقسمة، فهو في النظريات الحديثة والقديمة، على السواء، المجال Le champ أساساً، أي مجموع الخصائص الفيزيائية التي تحدد وتميز، في كل لحظة، مختلف نقاط المكان، التي يعبر عنها - رياضياً - بواسطة دوال متصلة على العموم، احداثياتها: الزمان والمكان».

وإذا كانت مشكلة الاتصال والانفصال قد احتدم النقاش فيها، خاصة مع قيام الفيزياء الحديثة في أوائل هذا القرن، فإنها قد سيطرت منذ القديم على النقاش الذي دار، خلال تطور العلم، حول طبيعة المادة بمختلف تجلياتها. ويهمنا هنا أن نستعرض «تاريخ» هذا النقاش، ومن خلاله ستكشف لنا أبرز مراحل تطور الأفكار والنظريات في العلم الكلاسيكي.

ثانياً: ذرّات الفلاسفة وجواهر المتكلمين

كان ديمقريطس أول الفلاسفة اليونانيين الذين تحدثوا عن الذرة. فلقد صاغ مذهباً مادياً ذرياً متماسكاً يقوم على الانفصال. لقد قسم ديمقريطس الوجود الواحد المتصل الثابت المتجانس الذي قال به بارمنيدس من قبل، إلى ذرات لانهائية العدد، لها جميع خصائص الوجود البارمنيدي من حيث الصلابة والخلود، ذرات منفصل بعضها عن بعض تتحرك في الخلاء (أو الفراغ).

وهذه الذرات، كما يدل على ذلك اسمها في اللغة اليونانية، عبارة عن «لامنقسمات»، لا ترى بالعين المجردة، صلبة لا تنقسم ولا تتغير، وإنما يختلف بعضها عن بعض في الشكل

---

(1) Louis de Broglie, *Continu et discontinu en physique moderne* (Paris: Albin Michel, 1949), p. 8.

والوضع والترتيب. وهي إلى جانب ذلك تتحرك باستمرار في جميع الاتجاهات، فلا تسقط إلى أسفل لأنها غير ذات وزن. كانت هذه الذرات - كما يقول ديمقرطس - منتشرة، في بادىء الأمر، في الخلاء اللانهائي، ثم تجمّعت المتشابهات منها بواسطة حركة الدوامة Tourbillon فتشكّلت منها العناصر الأربعة (التراب، الماء، الهواء، النار) ومن هذه العناصر تألفت الأجسام. فاختلاف الأجسام، إذن، إنما يرجع إلى اختلاف الذرات التي تتكوّن منها، وليس هناك شيء في الوجود غيرها وما يتشكّل منها. أما حركتها فهي من ذات نفسها لا من قوة خارجية، فكل شيء يسير بحتمية القانون الطبيعي: «كل يصدر عن سبب وبالضرورة».

تبنّى ابيقور مذهب ديمقرطس، ولكنه أدخل عليه تعديلات، أهمها ما يتعلق بحركة الذرات، يرى أبيقور أن الذرات تتحرك حركتين: حركة في الخلاء كما يقول ديمقرطس، وحركة أخرى داخلية اهتزازية هي علة القفز بعد الصدمة. وهكذا فحركة الأجسام كما تبدو لنا هي نتيجة حركتين، حركة الذرات داخل نفسها، وحركتها داخل المركّبات التي تشكّل الأجسام. ولما كانت حركة الذرات راجعة إلى طبيعة الذرات نفسها، لا إلى قوة خارجية، فهي أزلية ذات سرعة واحدة ومتجهة إلى أسفل. وأكثر من ذلك فهي ليست حركة مستقيمة بل يعتريها بعض الانحراف، الشيء الذي يسمح بتلاقي الذرات، وبالتالي بتشكل الأشياء. وقد أدخل ابيقور هذا الانحراف في حركة الذرات ليتمكن من تفسير حرية الارادة البشرية. وهكذا فقوانين الطبيعة ضرورية، ولكن الانحراف عدم تحديد، أي حرية.

هذا ملخص ما راج في الفلسفة اليونانية بصدد الذرة. وإذا كانت هذه الآراء قائمة على مجرد التخمين والملاحظة العامية، فإنها مع ذلك قد أثارت مشكلة تركيب المادة. وعلى الرغم من أن هذه المشكلة لم تطرح طرحاً علمياً إلاّ مع بداية القرن التاسع عشر - كما سنرى - فلقد ظلت مع ذلك قائمة يتناولها الفلاسفة. وقبل الحديث عن المشكلة كما طرحت عند المفكرين المسلمين وفلاسفة عصر النهضة الأوروبية نلاحظ أن القول بالانفصال (نظرية ديمقرطس) يؤدي إلى الحتمية والضرورة، الشيء الذي دفع بأبيقور إلى القول بالانحراف ليُنقذ الحرية. وستظل الحتمية مرتبطة بالمنفصل كما سنرى في العلم الحديث.

أما في الإسلام فلقد خاض المتكلمون في مسألة الذرة، وبتعبيرهم الجوهر الفرد أو الجزء الذي لا يتجزأ. وسواء استقوا آراءهم في هذا الموضوع من الفلسفة اليونانية أو من بعض المذاهب الهندية - كما يقول بعض المستشرقين - فإنهم قد صاغوا مذهباً ذرياً يختلف من بعض الوجوه عن المذاهب السابقة، نظراً للاعتبارات الدينية والكلامية التي طرحوا في اطارها قضية الذرة.

يذكر مؤرخو الفكر الاسلامي أن أبا الهذيل العلاف، شيخ المعتزلة، هو أول من قال في الإسلام بالجزء الذي لا يتجزأ، أو الجوهر الفرد (الذرة)، ويصفه بأنه لا طول له ولا عرض ولا عمق، ولا اجتماع فيه (بسيط غير مركب) ولا افتراق (لا ينقسم)، وأنه يجوز أن يجامع غيره أو يفارقه، وأن الخردلة يجوز أن تتجزأ نصفين، ثم أربعة، ثم ثمانية إلى أن يصير كل جزء منها لا يتجزأ - وهذا الجزء الذي لا يتجزأ لا يقبل من الاعراض إلا السكون

والحركة والسماس ـ حتى إذا اجتمعت الأجزاء (ستة على الأقل، لأن الجسم يتكوّن من ستة أوجه كالمكعب مثلاً) صارت جسماً، وحينئذ يقبل الاعراض الأخرى مثل الرائحة واللون والطعم.

وقد تبنّى الأشاعرة، عموماً، فكرة الجزء الذي لا يتجزأ، فقالوا إن العالم الحسي عبارة عن أجسام. والأجسام جواهر وأعراض. والجواهر الفردة متمايزة، غير متصلة إذ لا حجم لها. وكما قسموا الأجسام إلى جواهر فردة لا امتداد لها، قسموا الزمان كذلك إلى آنات لا مدة لها. فالمكان والزمان، كلاهما عبارة عن أجزاء منفصلة بينهما فراغ، أجزاء لا يفعل بعضها في بعض ولا ينفعل به (لأن الفاعل الحقيقي في رأيهم هو الله، ومعلوم أنهم نفوا حرية الارادة البشرية وقالوا بالكسب، فالقدرة التي يفعل بها الانسان هي من الله، ولكن الانسان، يكسب أفعاله أي يسأل عنها ويتحمل نتائجها. ونظرية الكسب هذه غامضة، ولذلك يقال «أخفى من كسب الأشاعرة»).

وانفرد النظام المعتزلي وبعض المتكلمين الآخرين بالقول بأنه «لا جزء إلاّ وله جزء، ولا بعض إلاّ وله بعض ولا نصف إلاّ وله نصف، وأن الجزء جائز تجزئته أبداً، ولا غاية (لا نهاية له) من التجزؤ». ومن النتائج التي تترتب على إنكار النظام للجزء الذي لا يتجزأ استحالة الحركة وقطع المسافة (كما قال زينون من قبل)، ولكنه تغلب على ذلك بالقول بالطفرة، ومعناها «أن الجسم قد يكون في مكان ثم يطفر (يقفز) منه إلى المكان السادس أو العاشر من غير مضي بالأمكنة المتوسطة بينه وبين العاشر».

هذا وبغض النظر عن الاعتبارات الكلامية والدينية التي وجهت آراءهم في هذا المجال هذه الوجهة أو تلك، فلقد ناقشوا موضوع الذرة وأبدعوا فيه آراء ومذاهب لا تخلو من الطرافة. من ذلك رأي النظام في الطفرة الذي يذكرنا بنظرية الكوانتا، ورأي جلال الدين الرومي المتصوف الذي يروى عنه قوله: إذا اطلعت على الذرة فستجدها عبارة عن شمس تدور وحولها الكواكب والنجوم، وهو قول يذكرنا بالتصور الحديث لتركيب الذرة كما سنرى ذلك بعد. ولكن علينا أن لا ننساق مع الهوى فنعمد إلى مقارنات لا يبررها المنطق ولا التاريخ. فالإطار الذي طرحت فيه مسألة الذرة سواء عند الفلاسفة اليونان أو عند المتكلمين في الإسلام غير الاطار الذي طرحها فيه العلم الحديث. هذا فضلاً عن أن القول بهذا الرأي أو ذاك لم يكن في العصور القديمة والوسطى ناتجاً من البحث العلمي بقدر ما كان تبريراً وتأييداً لنظرية فلسفية أو تأويل ديني، تبريراً يعتمد التأمل لا التجربة. ومع ذلك، وفي هذا الإطار نفسه يجب أن ننوّه بأصالة آراء المفكرين المسلمين التي يحاول بعض المستشرقين أن يربطوها بكيفية تعسفية بآراء اليونانيين.

ثالثاً: الذرّة كفرضية علمية

انبعث المذهب الذري من جديد مع الفلسفة الحديثة في أوروبا، ابتداء من القرن السابع عشر، فدخلت «الذرة» بشكل أو بآخر في النظريات والأنساق الفلسفية التي شيّدها

فلاسفة العصر الحديث (ديكارت، مالبرانش، جاساندي، ليبتز) ولكنها بقيت عند هؤلاء، كما كانت في القديم، خاضعة لاعتبارات ميتافيزيقية، وحتى العلماء الذين تحدثوا عن الذرة في القرنين السابع عشر والثامن عشر، فإن حديثهم عنها لم يكن مبنياً على تجارب علمية، وإنما كانوا يصدرون في ذلك عن ضرب من الحدس الهندسي: لقد كانوا ينسبون إلى الذرات كيفيات وخصائص حسية تفسر احساسات الانسان المختلفة كالذوق والشم واللون والاحساس بالحرارة والبرودة.

ومع بداية القرن التاسع عشر دخلت الذرة في **الأبحاث الكيماوية** كفرضية علمية مكنت من تفسير بعض الظواهر تفسيراً بسيطاً ومقبولاً. لقد كان الكيميائيون قد تعرفوا آنئذ على بعض الأجسام البسيطة مثل الأكسجين والهدروجين والنحاس والحديد... واكتشفوا أن ذات هذه الأجسام البسيطة تتحد فيما بينها حسب نسب دقيقة ثابتة لتشكل مركبات تختلف درجة تعقيدها، مركبات سميت بـ «الجزيئات» Molécules. ومن هذه الجزيئات تتألف مختلف الأجسام.

وهكذا فإذا كان القدماء قد تصوروا الذرات على أنها عبارة عن وحدات بسيطة مليئة غير قابلة للانقسام، ثابتة وخالدة... فإن الجزيئي عند علماء القرن التاسع عشر كان عبارة عن جزء صغير جداً من المادة شبيه بكرة صغيرة مملوءة وقابلة للامتداد. والجزيئات عندهم متماثلة لا يؤثر بعضها في بعض إلاّ حين اصطدامها، أما حجمها فصغير جداً، وأما كثافتها فثابتة لا تتغير، وأما حركتها فعشوائية تتم في الفراغ دون اتجاه مضبوط.

كان العالم الانكليزي **دالتون** Dalton (١٧٦٦ - ١٨٤٤) **أول من طرح مسألة الذرة طرحاً علمياً** (عام ١٨٠٨). لقد استوحى آراء الذين سبقوه، وتأدى به التفكير إلى الاستنتاج التالي: **إذا سلمنا بأن لكل عنصر بسيط، كالهيدروجين مثلاً، ذرة نوعية خاصة به، لزم أن يكون لكل ذرة نوعية وزن خاص بها، لأن الأجسام (وهي تتركب من الذرات) تختلف في الوزن، ولزم كذلك أن يتم اتحاد الذرات كيماوياً حسب علاقات محددة مضبوطة، وبالتالي يصبح من الممكن استخلاص الأوزان الذرية بمقارنة العناصر البسيطة بعضها مع بعض مما يفسح في المجال للبرهنة علمياً على فرضية الذرة.**

هكذا دخل **«الوزن الذري»** كمفهوم أساسي في الأبحاث الذرية يومئذ. وبما أنه لم يكن من الممكن يومئذ وزن الذرات والجزيئات بكيفية مباشرة، فهي من الصغر والدقة بحيث لم يكن من المستطاع الامساك بها بوسائل القياس المتوفرة، فقد التجأ العلماء إلى طريقة المقارنة لتحديد الأوزان الذرية الخاصة بالعناصر البسيطة. وبما أن الهيدروجين هو أخف هذه العناصر، فقد تواضع العلماء على اتخاذه وحدة للقياس فأعطوا كتلته العدد ١، وبمقارنة بقية العناصر المعروفة مع الهيدروجين تمكن العلماء من أن ينسبوا إلى ذرة كل عنصر وزناً خاصاً. فأعطوا للأكسجين مثلاً العدد 16 لأنه أثقل 16 مرة من الهيدروجين، وأعطوا للكربون العدد 12 لأنه أثقل من الهيدروجين 12 مرة، والفضة 108... الخ. وهكذا أنشئت لائحة للعناصر البسيطة مرتبة على النحو السابق أي حسب أوزانها الذرية، **هذه الأوزان التي هي**

عبارة فقط عن أعداد مجردة تعبر عن النسب بين ذرة الهيدروجين المتخذة كوحدة للقياس وذرات العناصر التي يراد تحديد أوزانها الذرية. ومن هنا كان التعبير الأقرب إلى الصحة هو «العدد الذري» لا الوزن، وهذا ما سيعمل به فيما بعد.

تلك كانت الخطوة الأولى في البحث العلمي في ميدان الذرة. أما الخطوة الثانية والأكثر أهمية فقد قام بها العالم الروسي ماندليف Mendeleiv (١٨٣٤ - ١٩٠٧) الذي توصل إلى تصنيف العناصر الكيماوية تصنيفاً ظل يشكّل أحد الأسس التي قامت عليها النظريات الحديثة حول تركيب المادة. لقد لاحظ مندليف عام ١٨٦٩ أن بعض خصائص العناصر البسيطة تظهر دورياً كخصائص لكتلتها الذرية. لقد رتّب مختلف العناصر المعروفة يومئذ حسب كتلتها (وزنها) الذرية ترتيباً تصاعدياً فلاحظ ظاهرة غريبة، وهي أنه ابتداء من العنصر التاسع تظهر عناصر تشبه من أوجه كثيرة العناصر الثمانية الأولى، الشيء الذي كشف عن سبع دورات تنتظم مختلف العناصر المعروفة (يومذاك).

هكذا أقام مندليف تصنيفه المشهور على مبدأين أساسيين: الوزن الذري، والتكافؤ الكيماوي[2]. فرتّب مختلف العناصر المعروفة في وقته حسب أوزانها الذرية ترتيباً تصاعدياً ابتداء من الهيدروجين الذي وزنه 1 إلى الأورانيوم الذي وزنه الذري 238، مراعياً في نفس الوقت التكافؤ الكيماوي الذي يظهر دورياً بترتيب العناصر بهذا الشكل. وهكذا أنشأ قائمة مستطيلة متعامدة الخانات، وضع في الخانات الأفقية العناصر مرتبة حسب أوزانها الذرية، ووضع في الخانات العمودية نفس العناصر التي لها نفس التكافؤ، أي المتشابهة كيماوياً. وقد اضطر مندليف الذي راجع تصنيفه مراراً، إلى ترك خانات فارغة في لائحته، خانات تحدد خصائص بعض العناصر التي كانت مجهولة يومئذ، وقد كشف البحث العلمي عنها فيما بعد، مما أكد صحة تصنيف مندليف.

وهكذا وجدت الكيمياء طريقها نحو التقدم بفضل «فرضية» الذرة والجزيئي، ولكن رغم ذلك بقيت الذرة شيئاً مجهولاً مما جعل كثيراً من العلماء ذوي الميول الوضعية يعارضون القول بفرضية الذرة إلى أواخر القرن الماضي وأوائل هذا القرن معتبرينها «فرضية ميتافيزيقية». وإذا كان بعضهم قد اعترف ببساطة نظرية الذرة وملاءمتها، فإنهم لم يكونوا يقبلون القول بوجود الذرة وجوداً واقعياً بدعوى أن التجربة لم تكشف عن هذا الوجود.

---

(٢) التكافؤ هو اشباع ذرّة من عنصر ما بذرّة أو أكثر من ذرّات الهيدروجين. فإذا اتحدت ذرّة من عنصر ما مع ذرة واحدة فقط من الهيدروجين يسمى ذلك العنصر وحيد التكافؤ Univalent. وإذا اتحدت ذرة عنصر ما بذرّتين من الهيدروجين سمي ذلك العنصر ثنائي التكافؤ Bivalent، مثل الأكسجين التي تتحد ذرة منه مع ذرتين من الهيدروجين ليتشكّل منها مركب جديد هو الماء (H_2O). وقس على ذلك الأجسام التي يقال عنها إنها ثلاثية أو رباعية... التكافؤ.

رابعاً: النظرية الحركية للغازات وإثبات وجود الذرّة

من المفارقات التي عرفها تاريخ العلم أن البحث في موضوع ما داخل اطار معين كثيراً ما تعترضه صعوبات لا يمكن حلها داخل ذلك الإطار، فالحل يأتي في الغالب من ميدان آخر، الشيء الذي يدل على ترابط ظواهر الطبيعة وأجزائها ترابطاً عضوياً. وهكذا فإثبات وجود الذرة لن يتحقق داخل ميدان البحث في العناصر وتركيبها الذري، بل في فرع آخر من فروع الفيزياء هو الحرارة.

لقد جرت مناقشات عديدة بين علماء القرن الثامن عشر حول طبيعة الحرارة. وكانت نظرية «المواثع» أو «السيالات» Les fluides سائدة منذ قرون. فالحرارة تنساب كالماء من جسم إلى آخر. لذلك قالوا إنها «سيال» يملأ الفراغ الموجود بين ذرات الأجسام الساخنة. وقالوا مثل ذلك بالنسبة إلى الكهرباء، كما سنرى بعد قليل. وهكذا كانت نظرية «المواثع»، وهي القائمة على الاتصال، تفسر طبيعة الحرارة والكهرباء والمغناطيس.

وبخصوص الحرارة ظهرت نظرية جديدة تقول: إن الحرارة مظهر من مظاهر الحركة، فحرارة جسم ما تنشأ عن حركة جزيئاته. وبذلك نشأت نظرية أخرى تفسر الحرارة بالانفصال. لم يكن من السهل الفصل بين النظريتين ما دامت التجارب لم تؤكد هذه الفرضية أو تلك. غير أن النظرية القائمة على الاتصال سرعان ما تلقت ضربة قاسية عندما لاحظ رامفورد Rumford عام ١٧٩٨، وكان مختصاً في صناعة المدافع، انه بالإمكان احداث الحرارة بكميات لامحدودة، الشيء الذي يعني أنها ليست مجرد انتقال «مائع» من جسم لآخر، بل هي شيء يمكن احداثه والزيادة في كميته. وكان ذلك منطلقاً لنظرية جديدة علمية هذه المرة، النظرية الحركية للحرارة.

تعززت هذه النظرية باكتشاف كارنو Carnot (١٧٩٦ ـ ١٨٣٢) وجود تناسب بين الحرارة والشغل. وقد أكد العالم الألماني ماير R. Mayer (١٨١٤ ـ ١٨٧٥) هذا التناسب، إذ استطاع أن يضع مبدأ تعادل الحرارة والشغل مما مكن الباحث الانكليزي جول Joule من تحديد القيمة الحسابية لتعادل الحرارة والشغل والقول بفرضية جديدة مؤداها أن الحرارة طاقة لا تختلف عن غيرها من أنواع الطاقة، كالطاقة الميكانيكية، بل لقد توصل إلى اكتشاف بالغ الأهمية، اكتشاف قانون تحول الطاقة (الطاقة الميكانيكية مثلاً تتحوّل إلى طاقة حرارية، والعكس صحيح). وهنا دخلت كلمة طاقة Energie قاموس العلم ككائن علمي ضروري، وظهرت فكرة حفظ الطاقة، أي بقاء الطاقة، في منظومة مغلقة، ثابتة دوماً مهما تحوّلت من شكل إلى آخر.

وهكذا أصبح مفهوم الطاقة ملازماً لمفهوم المادة، وكلاهما يخضع لقوانين الحفظ، حفظ الطاقة، وحفظ المادة، بمعنى أن المنظومة المغلقة لا يمكن أن تفقد شيئاً من المادة والطاقة. أما الفرق الوحيد بينهما، في التصور السائد يومذاك، فهو أن المادة لها وزن، أما الطاقة فلا وزن

لها. بل لقد ذهب بعض العلماء إلى القول: لا يوجد إلاّ الطاقة وتبقى كميتها ثابتة، وعلى هذا الأساس قامت نظرية الطاقة Energetique التي أشرنا إليها في الفصل السابق.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى انبعث من جديد فكرة كان قد قال بها العالم برنولي D. Bernouli سنة ١٧٣٨، وكانت ترمي إلى تطبيق قوانين الميكانيك على العدد الهائل من الجزيئات التي تتكوّن منها الغازات. انبعثت هذه الفكرة على يد كلوزيوس Clausieus (١٨٢٢ ـ ١٨٨٨) وحاول تطبيقها. وهكذا فإذا تصورنا الغازات على أنها عبارة عن عدد هائل من الجزيئات تتحرك في اتجاهات مختلفة ويصدم بعضها بعضاً، أمكن التفكير في طريقة تساعد على قياس سرعة هذه الجزيئات. وبما أنها كثيرة جداً، ودقيقة جداً، وذات حركات عشوائية، فإن الطريقة التي من شأنها أن تساعدنا على قياس حركتها، هي **الطريقة الاحصائية**، أي البحث عن السرعة المتوسطة لهذه الجزيئات بنفس الطريقة التي يحدد بها متوسط اعمار شعب من الشعوب. وبهذا الاعتبار ستكون الحرارة نوعاً من الطاقة الميكانيكية الناتجة من حركة الجزيئات. فحرارة الغاز، مظهر لحركات الجزيئات، وارتفاع درجة الحرارة معناه ازدياد سرعة الجزيئات.

وهكذا فمن خلال البحث في طبيعة الحرارة انطلاقاً من فرضية الجزيئات، أخذت هذه الفرضية تنمو وتتأكد وتتخذ أبعاداً جديدة، الشيء الذي يرجع بالتالي فرضية الذرة. ومع ذلك، فنحن ما زلنا في منتصف الطريق. فللتأكد من وجود الجزيئات وبالتالي، الذرات، لا بد من الحصول عليها علمياً، بطريقة أو بأخرى. وهنا ستلعب فرضية أخرى دوراً أساسياً في تاريخ العلم. إنها **فرضية أفوكادرو: وقصتها كما يلي:**

كان العالم الفرنسي غي لوساك Gay Lussac (١٧٧٨ ـ ١٨٥٠) قد توصل إلى صياغة قوانين بسيطة تضبط ظاهرة تمدد الغازات، ومنها قانون ينص على وجود علاقة ثابتة وبسيطة بين الأحجام الغازية ومركباتها. بمعنى أن حجماً جديداً يمكن ضبط مقداره بواسطة الحجمين الأولين فقط. تأمل أفوكادرو Avogadro (١٧٧٦ ـ ١٨٥٦) ـ وهو عالم ايطالي ـ هذه الحقيقة التي كشف عنها غي لوساك وأدلى سنة ١٨١٩ بفرضية مشهورة حملت اسمه. قال: «إن الفرضية التي تخطر في الذهن لأول وهلة، والتي تبدو أنها وحدها المقبولة، هي أن **الأحجام المتساوية من الغازات المختلفة تشتمل دوماً ـ على نفس العدد من الجزيئات**» وهذا يعني أن الخصائص الكيماوية للجزيئات الغازية لا أهمية لها هنا اطلاقاً. (لنلاحظ هنا أن الجزيئي ما زال فرضية، ولكنه أصبح أساساً لا غنى عنه لقيام فرضيات أخرى والوصول إلى كشوف علمية جديدة).

لعبت هذه الفرضية التي أدلى بها أفوكادرو دوراً كبيراً في تقدم المعرفة العلمية وأخذت أهميتها تزداد يوماً بعد يوم، مما جعل الحاجة إلى اثباتها تجريبياً حاجة ملحة. وبعد محاولات متكررة تمكّن العالم الفرنسي جان بيران Jean Perrin (١٨٧٠ ـ ١٩٤٢) في بداية هذا القرن من تحديد عدد الجزيئات التي يشتمل عليها حجم معين من الغاز (هو 22,4 ليتر). وقد اختير هذا الحجم لاعتبارات لا مجال للدخول فيها هنا، فكشف بشكل دقيق عن أن 22,4 ليتر من

أي غـاز، كيفما كـان، إذا أخذ في ضغط 76 سم ودرجـة حرارة الصفـر، يشتمـل على عـدد مضبـوط من الجزيئـات هو العـدد: 6×10^{23} جـزيئي (أي 60 مضـافـاً إليهـا 23 صفـراً من اليمين. . . !).

هكذا أصبح عدد أفوكادرو حقيقة علميـة، وصار في الامكـان قياس كتلة جـزيئي من الغاز قياساً دقيقاً. وهكذا أيضاً تأكدت فرضية دالتون وأصبحت حقيقة علميـة رغم تحفظات الوضعيين، كما أصبح في الامكان تقديم تفسير صحيح لحركة براون[3] (نسبة إلى العالم النباتي الانكليزي براون Brown (١٧٧٣ - ١٨٥٨)). وأكثر من ذلك أصبح في الامكان تفسـير كثير من خصائص الأجسام كالصلابة والسيولة. فهذا جسم صلب لأن جـزيئاته متماسكـة بقوة، وهذا جسـم سائل لأن جزيئاته أقل تماسكاً، يسري بينها شيء من الفـراغ، وذاك جسـم غازي (غاز) لأن جزيئاته منفصلة بعضها عن بعض تمام الانفصـال، فتتحرك في اتجاهات مختلفـة، وتزداد حركتها بارتفـاع درجة الحـرارة. فالحـرارة إذن ناتجـة عن حركـة الجزيئـات. والجسـم الصلب يسخن لأن جزيئاته تتحرك في مكـانها (تتذبـذب) والجسـم السائـل يسخن هو الآخر لنفس السبب، ولكن حركة جزيئاته أكثر حرية، أما جزيئات الغاز فهي كـما قلنا منفصلة عن بعضها وحركتها غير منتظمة.

أصبحت فرضيـة الجزيئات حقيقـة علمية، وتـأكد بـالتالي وجـود الذرات، لأن الـذرة مركب الجزيئات. إن هذا يعني أن الجزيئي يقبل القسـمـة فعلاً إلى ذرات. فهـل تقبل الـذرة نفسـها القسـمة كذلك!

كان القدماء يقولون إن الذرة لا تنقسم لأنها بـالتعريب «لامنقسـمـة». أما علماء القـرن التـاسع عشر فقـد قالـوا: قد يكـون من الممكن قسمة ذرة من الأوكسجين مثلاً، ولكن مـا سنحصل عليه بعد القسـمة سيكون شيئاً آخر غير الأوكسجين!

من هنـا بـدأ البحث في بنية الـذرة. وسيكـون طريق العلماء إليهـا لا الغـازات ولا الحرارة، بل الكهرباء والتحليل الكهربائي.

خامساً: الطريق إلى بنية الذرّة

لعل أول ظاهرة كهربائية ومغناطيسـية لاحظها النـاس قديمـاً هي خاصيـة الجذب التي تنفرد بها بعض الأجسـام كالعنبر والحجر المغنـاطيـسي: العنبر يجـذب التبن وغيره من الأجسـام

---

(٣) لاحظ الباحث النباتي الانكليزي براون عام ١٨٢٧ أن الحبيبات الدقيقة التي يتألف منها أحد أنواع اللقاح التي كان يدرسها، تبدو، عندما تنثر في صحن من الماء وينظر إليها بالمكروسكوب، دائمة الحركة: تتحرك في اتجاهات مختلفة وبشكل عشوائي على الرغم من هدوء الماء هدوءاً تاماً. لم يتمكن براون ولا معاصروه من تفسير هذه الحركة، إذ كان لا بد من انتظار مرور ثمانين عاماً حتى تكتمل النظرية الحركيـة للغازات على يد جان بيران كما رأينا. لقد مكنت هذه النظرية من اعطاء تفسير بسيط ومعقول لحركة براون هذه. ذلك أن حركة حبيبات اللقاح إنما ترجع إلى حركة جسيمات الماء. هذه تقذف تلك في اتجاهـات مختلفة (الماء يتألف مثله مثل الغاز، من جزيئات تتحرك).

الخفيفة المماثلة عندما يحك بقطعة من الصوف، والحجر المغناطيسي يجذب الأجزاء الصغيرة من فتات الحديد (برادة الحديد). ويقول مؤرخو العلوم إن الفيلسوف اليوناني طاليس (القرن السادس قبل الميلاد) هو أول من حاول إعطاء تفسير لهذه الظاهرة الغريبة، إذ قال: إن للعنبر والحجر المغناطيسي روحاً قادرة على جذب الأجسام المجاورة (النزعة الاحيائية).

كان هذا كل ما عرفه القدماء ورجال القرون الوسطى عن الكهرباء والمغناطيس، وهذا كل ما ورثه العلم الحديث عن العلم القديم في هذا الشأن، بالإضافة إلى التسمية. (العنبر باللغة اليونانية يسمى «الكترون» ومنه اشتق اسم الكهرباء باللغات الأجنبية Electricité أما الحجر المغناطيسي فيسمونه «مانييس» ومن هنا كلمة Magnetisme = مغناطيس). ولما جاء القرن السادس عشر، القرن الذي نشطت فيه الأبحاث العلمية التجريبية بالمفهوم الحديث، كان الطبيب الانكليزي جيلبر Gilbert (١٥٤٠ ـ ١٦٠٣) أول من اهتم بدراسة خاصية الجذب ـ التي يتصف بها العنبر ـ في مواد أخرى كالزجاج والكبريت والمادة الصمغية الصنوبرية وغيرها من الأجسام المماثلة التي أطلق عليها يومئذ اسم Idio-électrique ما نعبر عنه اليوم بـ «الأجسام العازلة»، وذلك في مقابل الأجسام الأخرى التي ليست لها خاصية الجذب تلك، والتي أطلق عليها اسم Anélectrique (ما نعبر عنه اليوم بـ «الأجسام الموصلة»).

بقي الأمر عند هذا الحد، إلى أن حل القرن السابع عشر، قرن نيوتن والجاذبية والتفسير الميكانيكي للظواهر الطبيعية، فأخذ العلماء يحاولون تفسير خاصية الجذب التي يتميز بها كل من العنبر والحجر المغناطيسي انطلاقاً من قانون الجاذبية، وسرعان ما لاحظوا نوعين من «الكهرباء»: **الكهرباء «الزجاجية»** التي تحدث بدلك الزجاج، **والكهرباء «الصمغية»** التي تحدث بدلك العنبر، كما لاحظوا كذلك أن الجسمين اللذين لهما نفس النوع من الكهرباء يفترقان إذ ينبذ أحدهما الآخر، في حين يتجاذب الجسمان اللذان لهما كهرباء من نوع مضاد.

ومن هاتين الملاحظتين انطلقت الأبحاث في الكهرباء والمغناطيس معاً، وكان العالم الفرنسي **كولومب** أول من توصل عام ١٧٨٥ إلى **تحويل الظاهرة الكهربائية إلى مقدار كمي** فيزيائي سماه **الشحنة**، مما مكنه من ضبط الشحنات الكهربائية بواسطة قانون مستوحى من قانون الجاذبية الذي صاغه نيوتن. أما عن طبيعة الكهرباء فقد أدلى بشأنها الفيزيائي الأمريكي فرانكلان Franklin (١٧٠٦ ـ ١٧٩٢) بفرضية، على غرار الفرضيات التي كانت سائدة يومئذ، فقال إن الكهرباء عبارة عن مائع (أو سيال) fluide يسري بين الأجسام بشكل متصل. وعندما اكتشف العلماء أن الحرارة ليست مائعاً كما كان يعتقد، بل هي نتيجة حركات الجزيئات، أي أنها من طبيعة منفصلة لا متصلة، أصبح من الطبيعي أن يتساءلوا: ألا تكون الكهرباء أيضاً قائمة على الانفصال؟ أليست هي الأخرى عبارة عن حبات منفصلة كالمادة والحرارة؟

انطلقت الأبحاث في الكهرباء من هذا التصور الجديد، ووصل **هيلموتز** Helmotz عام ١٨٨١، بواسطة تجارب التحليل الكهربائي إلى ملاحظة طريفة، وهي أن **الأيونات** (أو

الشوارد) ions، وهي أصغر جزء من المادة يمكن اطلاقه، تندفع منفصلة ومتقطعة. ولم تمض إلا بضع سنوات حتى أكدت نظرية الشوارد هذه أن **الكهرباء هي فعلاً عبارة عن حبات منفصلة تندفع متقطعة متتالية**. وكان العالم الايرلندي ستوني Stonny هو أول من اقترح تسمية هذه الحبات الكهربائية بـ «الالكترون» Electron (أو الكهرب) وذلك عام ١٨٨١.

إن الالكترون، في هذا المستوى من البحث، **هو أصغر كمية من الكهرباء يمكن الحصول عليها**، وكان ينظر إليه على أنه متميز عن المادة، وأنه يتخذ هذه مطية له. ولكن هذا التصور سرعان ما تعدل إذ أصبح العلماء ينظرون إلى الالكترون بوصفه جسيماً مادياً هو نفسه، جسيماً لا يلعب فقط دور «الذرة الكهربائية» بل أيضاً دور المكون الأساسي للمادة: فالمادة تنحل في الأخير إلى كهارب (الكترونات).

تضافرت تجارب كثيرة أكدت هذه الحقيقة. وكانت التجربة الحاسمة في هذا المجال هي تلك التي قام بها العالم الأمريكي **مليكان Millikan** عام ١٩٠٩ والتي أكدت بكيفية لا تقبل الشك الطبيعة الجسيمية (المنفصلة) للكهرباء. لقد حدّد مليكان بدقة شحنة الالكترون وكتله. وكشفت تجارب أخرى عن وجود الكترونات في الأجسام حتى ولو كانت أجساماً محايدة لا تصدر أية كهرباء مما دفع بالعلماء إلى القول بأن الالكترون يدخل في تركيب المادة، وأنه جزء أساسي فيها. **وهكذا تغيرت نظرتهم إلى الذرة فلم تعد غير قابلة للانقسام، بل أصبح ينظر إليها ككبنية، كشيء يتألف من عناصر تقوم بينها علاقات معينة**. ولقد تبين فيما بعد أن عدد الالكترونات التي تشتمل عليها الذرات ليس واحداً دوماً، بل يختلف باختلاف نوعية الذرات. فذرة الهيدروجين تشتمل على الكترون واحد، وذرة الأورانيوم تشتمل على 92 الكتروناً. وهكذا أصبحت العناصر البسيطة تصنف الآن حسب **الأعداد الذرية** (عدد الالكترونات التي تدخل في تكوين الذرة) لا حسب الأوزان الذرية الافتراضية كما كان الشأن من قبل.

من هذا انطلقت الأبحاث في الذرة بمنظور جديد. لقد تساءل العلماء: بما أن الذرة جسم حيادي لا يرسل أية شحنة كهربائية، وبما أنها تشتمل، مع ذلك، على الكترونات، أي على كهرباء سالبة، فإنه لا بد أن يكون هناك «شيء» داخل الذرة، يشتمل على كهرباء موجبة معادلة للكهرباء السالبة التي تحملها الكتروناتها. وكانت الفرضية التي أدلى بها العلماء في هذا الصدد هي أن الذرة تشتمل على نواة ذات كهرباء موجبة تعطل مفعول الكهرباء السالبة التي لالكتروناتها.

توالت الفرضيات حول بنية الذرة. وكان أنجحها ـ نسبياً ـ تلك التي أدلى بها روترفورد Rutherford والتي يقول فيها إن الذرة **أشبه ما تكون بالنظام الفلكي**: فكما تدور الكواكب حول الشمس، تدور الالكترونات في الذرة حول النواة. وقد تأدى إلى هذا الافتراض عندما تبين له أن أشعة «س» يمكن أن تخترق المادة، الشيء الذي لا يمكن حدوثه لو لم يكن هناك فراغ بين أجزاء المادة نفسها أي بين الذرات.

أدخلت فيما بعد تعديلات على هذا التصور الفلكي للذرة. فالالكترونات، حسب

نظرية لورنز تصدر كمية من الطاقة باستمرار، مما سيؤدي إلى عدم استقرار صرح الذرة. ذلك لأن الالكترون الذي يفقد جزءاً من طاقته سيضطرب سيره، فلا يبقى على مداره الأصلي حول النواة، بل سيسقط على النواة نفسها. كان لا بد من انقاذ ذرة روترفورد، وذلك ما قام به الداغاركي نيل بور Niels Bohr.

قال بور بنظرية متكاملة، متماسكة إلى درجة كبيرة، نظرية أصبحت تشكل التصور الرسمي لبنية الذرة. **لقد افترض بور أن لكل الكترون عدداً من المدارات الممكنة، يجري فيها دون أن يصدر طاقة ما. ولكنه عندما ينتقل من مدار إلى آخر (أي من محطة قارة إلى محطة أخرى قارة)**، لهذا السبب أو ذاك، فإنه في هذه الحالة، فقط، **يصدر الطاقة أو يمتصها بقدر معلوم** (= بالكوانتوم، طبقاً لنظرية الكوانتا التي سنشرحها في الفصل الثالث). وفي عام ١٩١٦ أدخل سومرفيلد Sommerfeld **تعديلاً جديداً** على ذرة روترفورد، إذ **اعتبر مسارات الالكترونات مسارات بيضوية الشكل**، لا دائرية كما كان يفترض من قبل. ثم استعمل نظرية النسبية في دراسة حركة الالكترونات حول الذرة.

لعل القارىء يلاحظ أننا نتحدث عن «ذرة روترفورد» أو «ذرة بور» أو «ذرة سومورفيلد»، لا عن الذرة كما هي في «حقيقتها». والواقع أن الأمر يتعلق بتصور معين للذرة، أي **بناء نظري افتراضي**، بشكل حقيقة **علمية مؤقتة**، لا حقيقة انطولوجية ثابتة، وتلك مسألة ابيستمولوجية أثارت وتثير مناقشات حادة، خاصة من طرف ذوي النزعة الوضعية بمختلف فروعها، أولئك الذين يقولون، إننا لا نعرف إلاّ ظواهر الأشياء، وآثارها، لا الأشياء في ذاتها. ومعرفتنا هذه نتيجة الملاحظة وأدوات القياس، وإذن فلا بد أن تتأثر بهذه الأدوات وتأثيرها، وبالتالي ففي المعرفة عنصر ذاتي أساسي. وسنعود فيما بعد إلى هذه المشكلة.

ومهما يكن، فإن الذرة نواة والكترونات. والنواة تتألف من **بروتونات** Protons **ونوترونات** Neutrons تسمى جميعاً بـ«النويات» (تصغير نواة) Nucléons. وعدد هذه النويات وتوزعها إلى بروتونات ونوترونات وعلاقة هذه بتلك، كل ذلك يختلف باختلاف الذرات، أي باختلاف العناصر. أضف إلى ذلك أن البروتونات ذات كهرباء موجبة، وهي التي تبطل مفعول الكهرباء السالبة التي تحملها الالكترونات، ولما كانت الذرة حيادية (أي لا كهرباء فيها) وجب أن يكون **عدد الالكترونات فيها مساوياً لعدد البروتونات**. وهكذا فالهيدروجين مثلاً تشتمل ذرته على الكترون واحد، وبروتون واحد. أما النوترونات فهي محايدة لا كهرباء فيها.

وعلاوة على الالكترونات والنوترونات والبروتونات، وكلها تدخل في تركيب الذرة، كما توجد خارجها، اكتشف العلماء عدداً آخر من الجسيمات الدقيقة جداً لا تدخل في تركيب الذرة مثل الميزون Méson والهيبرون وهما يعيشان فترة زمنية أقصر من لمح البصر. كما اكتشفوا أشكالاً أخرى من الجسيمات الأولية الدقيقة أطلقوا عليها اسم: مضادات الجسيمات Les antiparticules. ففي سنة ١٩٣٢ اكتشف بوزيترون لاالكتروني Positon أي مضاد

للالكترون، بمعنى أن له نفس الكتلة والشحنة التي للالكترون ولكنه يحمل كهرباء موجبة. وفي عام ١٩٥٥ ـ ١٩٥٦ اكتشف مضاد البروتون Antiproton وهو جسيم له نفس الشحنة والكتلة التي للبروتون ولكن كهرباء سالبة، إلى غير ذلك من الجسيمات الأولية الدقيقة التي يعجز الخيال عن تصور صغرها وقصر حياتها.

لقد تأكدت إذن الطبيعة الجسيمية للكهرباء، بعدما تأكدت بالنسبة إلى الحرارة. وأصبحت الذرة حقيقة علمية، لا كجزء لا يتجزأ، بل كبنية تتألف من جسيمات أولية. وبذلك أصبح التصور القائم على الانفصال هو السائد... ولكن هل يعني هذا أن الاتصال قد أصبح في خبر كان..؟

إن هناك جانباً آخر من القصة، قصة الصراع بين المتصل والمنفصل، الجانب الذي عرف هذا الصراع واضحاً حاداً، والذي انتهى ـ مؤقتاً على الأقل ـ إلى حل تركيبي بين المتصل والمنفصل، في جميع المجالات. إنها قصة الصراع بين النظرية الموجية والنظرية الجزيئية في ميدان الضوء.

سادساً: طبيعة الضوء: الاتصال أم الانفصال؟

تبدأ القصة ـ علمياً ـ مع ديكارت[4] الذي اهتم بالبحث في البصريات اهتماماً زائداً فتوصل إلى ضبط قانون انكسار الضوء La refraction (= العلاقة بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار ثابتة: جاس/جاك = ن)، كما أدلى بنظرية تفسر هذه الظاهرة، ومؤداها أن الضوء مكون من أجزاء صغيرة جداً سرعتها في الوسط الكثيف (الماء مثلاً) أكبر من سرعتها في الوسط الأقل كثافة (الهواء مثلاً). وهذا الاختلاف في السرعة هو سبب انحراف الأشعة (= انكسار الضوء). وعلى الرغم من أن باحثين آخرين كانوا يرون أن الاحتمال المعقول هو القول بأن سرعة الضوء في الوسط الخفيف أكبر من سرعته في الوسط الكثيف، فإن ديكارت تمسك برأيه مشبهاً انكسار الضوء عندما يصادف في طريقه عائقاً ما بالكرة التي تصطدم بجسم من الأجسام: ذلك لأنه كلما كان العائق صلباً كثيفاً كان رد الفعل أقوى (بالتالي ازدادت سرعة الضوء). وقد أثبت العلم في ما بعد خطأ هذه الفكرة.

وعلى الرغم من أن ديكارت لم يقل بنظرية الاصدار (النظرية الجزيئية التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات منفصلة) كما ستصاغ فيما بعد، إذ كان يعتبر الشعاع الضوئي بمثابة عمود ضاغط ينقل الضوء من الجسم المشع إلى العين (الشيء الذي يستجيب لنظريته العامة التي توحد بين المادة والامتداد، ومن ثمة تنفي الفراغ وتقول بالاتصال)، على الرغم من هذا فإن قسماً كبيراً من آرائه ظل أساساً لنظرية الإصدار في عصره. وقد تبناها نيوتن وصاغها صياغة جديدة كما سنرى فيما بعد.

---

(٤) يتعلق الأمر هنا خاصة بتفسير طبيعة الضوء: أمتصل هو أم منفصل. أما البحث في خواص الضوء وقوانينه، فلقد كان للعرب في القرون الوسطى دراسات متقدمة كدراسات ابن الهيثم مثلاً.

ومن أبرز الباحثين الذين حاولوا تفسير طبيعة الضوء بعد ديكارت، العالم الهولندي **هويغنز**. لقد اتهم ديكارت بأنه يبني نظرياته على مجرد التأمل العقلي لا على وقائع علمية، ملاحظاً أنه إذا كان الضوء هو في حقيقته حركة مادة ما، فإن من الصعب القول إنه يشبه في حركته حركة الكرة أو السهم. ذلك لأن الأشعة الضوئية التي تنبعث من جهات مختلفة، متعارضة، وتسير بسرعة عظيمة، لا يعوق بعضها سير بعض، على الرغم من تقاطعها واصطدامها. ولذلك فإن انتشار الصوت في الهواء على شكل أمواج يوحي لنا بالفرضية المناسبة في هذا الميدان. وإذن، **فالضوء عبارة عن أمواج**، (= متصل).

هذه باختصار فكرة هويغنز. ولكي نتمكن من تتبع المناقشات التي دارت حولها لا بد من التذكير ببعض الوقائع المعروفة: لنلق بحجر صغير على صفحة ماء هادىء. إننا سنلاحظ، ولا شك، حدوث أمواج تندفع متتابعة انطلاقاً من النقطة التي سقط فيها الحجر (مركز التموج). إن ههنا حركة. فما الذي يتحرك؟ إن قطرات الماء تبقى في مكانها وتكتفي بذبذبة عمودية، ويمكننا أن نشاهد ذلك أيضاً إذا وضعنا قطعة من الفلين (الفرشي) على الماء. ففي هذه الحالة نلاحظ انطلاق الأمواج في اتجاه معين، في حين تظل قطعة الفلين في مكانها تتحرك صعوداً وهبوطاً. وإذن، فالحركة الظاهرة، البادية للعيان، هي حركة الموجات، لا حركة الماء. **والمسافة بين قمة موجة وقمة موجة موالية لها هي ما يعبر عنه بطول الموجة. أما عدد ذبذبات الموجة** (أي قطعة الفلين في المثال السابق) **فيسمى التواتر (أو التردد)**.

وواضح أن هذه الذبذبات راجعة إلى حركة الموجات: فعندما تكون قطعة الفلين على قمة الموجة ترتفع، وعندما تكون على قعرها تنزل. وإذا فسرنا الضوء على هذا الأساس أمكننا القول إن سرعته هي سرعة التذبذب، أي التواتر. والقانون الذي يحدد العلاقة بين طول الموجة وتواترها هو التالي «**طول موجة الضوء متناسب عكسياً مع تواترها**». وهذا يعني إذا زاد طول الموجة قلّ تواترها (= انخفضت سرعتها) والعكس بالعكس[5].

وعلى الرغم من أن نظرية هويغنز تقدم تفسيراً معقولاً لكثير من الظواهر الضوئية، فإنها لقيت معارضة شديدة من طرف نيوتن، لأنها لا تتفق مع نظريته الميكانيكية العامة التي ترجع جميع أنواع الحركة إلى الفعل ورد الفعل. لقد تبنى هذا الأخير الاصدار (أو النظرية

---

(٥) من المناسب أن نذكر هنا أطوال الموجات كما هي معروفة اليوم:

هناك أولاً **الأمواج الاذاعية** وهي ثلاثة أنواع: **طويلة** (يتجاوز طول كل موجة منها ألف متر) ومتوسطة (طول موجاتها بمئات الأمتار، بين مائة وألف) وقصيرة (طولها بعشرات الأمتار) وتستعمل الأمواج القصيرة في الرادار كذلك.

وهناك **أمواج الضوء المرئي** وهي قصيرة جداً في حدود جزء عشرة آلاف جزء من السنتيمتر (= الميكرون) وأطول الموجات الضوئية هي موجة اللون الأحمر، وأقصرها موجة اللون البنفسجي.

وهناك موجات **الأشعة تحت الحمراء** وهي أطول من موجات اللون الأحمر المرئي، وهي لا ترى بالعين.
كما أن موجات **الأشعة فوق البنفسجية** أقصر من موجات اللون البنفسجي المرئي وهي لا ترى بالعين كذلك.

الجسيمية) التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات تنتقل في الفراغ، ومن ثمة تقبل التفسير الميكانيكي. وكانت الحجة الأساسية التي برر بها نيوتن معارضته لنظرية هويغنز هي أن هذه النظرية تقتضي افتراض وسط تنتقل عبره الموجات الضوئية، لأن التموج لا يحصل في الفراغ (والفراغ أو المكان المطلق مفهوم أساسي في ميكانيكا نيوتن). والوسط المقترح هنا هو «الأثير» وهو مفهوم غامض متناقض. فمن جهة يجب أن يكون «الأثير» لطيفاً رقيقاً إلى درجة أنه يستطيع الانسياب عبر الأجسام الشفافة (التي يمر عبرها الضوء) ولكنه أيضاً يجب أن يكون صلباً إلى درجة كبيرة حتى يستطيع اختراق أصلب الأجسام الشفافة (مثل الزجاج). من أجل ذلك رفض نيوتن النظرية الموجية على الرغم من بساطة التفسير الذي تقدمه لظواهر الضوء المعروفة في ذلك العهد، ولظواهر أخرى اكتشفها نيوتن بنفسه، واستعصى عليه تفسيرها بنظريته الجسيمية، مما جعله يعمد إلى «ترقيع» نظريته، الشيء الذي أفقدها بساطتها وجعلها تتعقد وتنحرف نحو النظرية الموجية.

من الظواهر الضوئية المعروفة يومئذ، والتي كانت تفسر تفسيراً معقولاً ومقبولاً بالنظريتين معاً، الجسيمية والموجية، **ظاهرة الانتشار المستقيم للضوء**: النظرية الجسيمية تفسر هذه الظاهرة بكون المصدر الضوئي ينشر حوله جزيئات (أو حبات) ضوئية تنطلق على شكل خطوط مستقيمة هي الأشعة الضوئية التي تشكل مسارات لتلك الجزيئات. وسرعة هذه الجزيئات في الفراغ، هي ما يعبر عنه بسرعة الضوء. أما النظرية الموجية فهي تفسر هذه الظواهر بكون المصدر الضوئي ينشر حوله موجات تنتشر عبر الأثير، وسرعة تواتر هذه الموجات هي سرعة الضوء.

ومن الظواهر المرتبطة بانتشار الضوء **ظاهرة الظل**. يرى القائلون بالنظرية الجسيمية إنه عندما نضع حاجزاً، كالورقة مثلاً، أمام حزمة من الأشعة الضوئية، فإن ظل هذا الحاجز يرتسم على الجدار المقابل. وهذا في نظرهم دليل على أن الضوء ينتشر على شكل خطوط مستقيمة. فالظل معناه أن قسماً من الأشعة قد منعه الحاجز من مواصلة طريقه نحو الجدار، مما يسبّب في ظهور الظلام عليه. ويقولون أيضاً إنه لو كان الضوء ينتشر بالتموج لما كان هناك ظلام يحاكي شكل الورقة تماماً. إذ من المعروف أن الأمواج تنعرج عندما يعترضها عائق، الشيء الذي لا بد أن يؤدي إلى حدوث تشويه واعوجاج في ظل الورقة المرتسم على الجدار، أو إلى عدم ظهور ارتطامها بمركب صغير، بل تنعرج ذات اليمين وذات الشمال لتحوم حول المركب لتتلاقى أمامه كما كانت وراءه.

ورغم قوة هذه الحجة التي تستند على الملاحظة الحسية - وهذا في الواقع ضعف، لأن الملاحظة الحسية كثيراً ما تكون مضللة في العلم - فإن أنصار نظرية التموج يدفعون هذا الاعتراض بفكرة سيؤيدها العلم فيما بعد، وستكون من بين العوامل الأساسية التي ستبعث نظريتهم من جديد وتمكنها من السيطرة. لقد قالوا إن الورقة ترسل، بالفعل، ظلاً على الجدار مماثلاً لشكلها، وذلك لأن حجم الورقة كبير جداً بالقياس إلى طول الموجات الضوئية، فهي تمنع الأمواج الضوئية من الانتشار والانعراج مثلما تمنع سفينة كبيرة أمواج نهر صغير من

الانتشار والانعراج حولها. ولو أمكن مراقبة جسم صغير جداً في مستوى صغر الموجة الضوئية لتبين أن هذا الجسم لا يترك وراءه ظلاً منتظماً على الشاشة، لأن الموجات الضوئية ستكون حينئذ قادرة على أن تحوم حوله، مما سيجعل الظل يظهر متقطعاً (ظاهرة الانعراج وستحدث عنها بعد قليل). كان هذا مجرد خيال، ولكنه خيال مبدع، وسيتمكن العلم من اجراء تجارب من هذا النوع، ولكن فيما بعد.

ومن الظواهر الضوئية المعروفة كذلك ظاهرة الألوان. وتفسرها النظرية الجسيمية بالقول إن اختلاف الألوان راجع إلى اختلاف الحبات الضوئية، فهي تفترض أن لكل لون حبات ضوئية معينة ذات شكل خاص. وهذه نقطة ضعف. أما النظرية الموجية فتفسر الألوان بشكل أبسط وأكثر معقولية. تقول: إن اختلاف الألوان راجع إلى اختلاف الموجات الضوئية. فللضوء الأحمر موجات طولها يختلف عن طول موجات اللون البنفسجي مثلاً. وهنا لا بد من الاشارة إلى «اللون» الأبيض وكيف يتكوّن: كان نيوتن ذات يوم يقلب في يده على مقربة من باب غرفته بلورة (عدسة زجاجية) فانعكست عليها أشعة الشمس، وظهرت فيها ألوان قوس قزح (الأحمر البرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي). لفتت هذه الظاهرة انتباهه وأخذ يبحث لها عن تفسير، فاهتدى إلى القول: إن اللون الأبيض مركب من هذه الألوان السبعة المذكورة. وانحلال الضوء الأبيض إلى هذه الألوان السبعة - وهذا ما يعرف بالطيف **Spectre** - راجع إلى أن الحبات الضوئية التي يتألف منها هي عبارة عن مجموعات تختلف شكلاً وسرعة، مما حمله على القول بأن لكل لون من ألوان الطيف نوعاً خاصاً من الحبات. أما أنصار النظرية الموجية فهم يقولون إن اللون الأبيض هو ذلك المركب الناتج من اندماج أطوال الموجات الضوئية للألوان السبعة المذكورة.

من هذه الأمثلة يبدو واضحاً أن النظريتين تستطيعان، كلاًّ على حدة، تفسير الظواهر الضوئية المعروفة إلى عصر نيوتن. ولكن هذا الأخير رفض بقوة نظرية التموج، لأنها - كما قلنا - لا تنسجم مع نظريته الميكانيكية العامة. وأيضاً لأنها لا تقول بوجود فراغ مطلق كما يقول هو، بل تفترض ذلك الوسط الغريب المسمى بـ «الأثير». وهكذا كتبت السيادة لفترة من الزمن طويلة للنظرية الجسيمية (نظرية الإصدار) وأصبحت لمدة قرن أو يزيد النظرية المعمول بها علمياً، وبالتالي أساساً لكثير من الآراء والنظريات العلمية.

لكن العلم لا يعرف التوقف ولا يخضع لسلطة الأشخاص والنظريات مهما كانت. لقد انبعثت نظرية هويغنز من جديد عندما ظهرت ظواهر ضوئية عجزت نظرية الإصدار النيوتنية عن تفسيرها. وأهم هذه الظواهر الجديدة التي ستعزز النظرية الموجية وتكتب لها السيطرة ثلاث: التداخل، الانعراج، الاستقطاب.

كان الطبيب الانكليزي يونغ Yong (١٧٧٣ - ١٨٢٩) أول من قام بتجارب أثبتت ظاهرة التداخل Interference. والمقصود بها ما يحدث من تعاقب بين النور والظلمة على الشاشة عندما تركز عليها حزمتان ضوئيتان في شروط معينة. وفي نفس الوقت تقريباً كان ضابط فرنسي واسمه مالوس Malus (١٧٧٥ - ١٨١٢) قد اكتشف ظاهرة الانكسار المضاعف

أو الاستقطاب Polarisation La double refraction. لقد كان ينظر ذات يوم إلى أشعة الشمس وهي تنعكس مرتين: مرة على زجاج النوافذ المقابلة لها، ومرة على قطعة بلورية كان يحركها بيده في اتجاه صورة قرص الشمس على النوافذ. إن انعكاس أشعة الشمس على النوافذ أولاً ثم على البلورة ثانياً كان يقتضي أن يقدم للناظر صورتين عن قرص الشمس. ولكن لشد ما كانت دهشة مالوس عظيمة عندما لاحظ أن انعكاس أشعة الشمس على زجاج النوافذ وعلى البلورة التي في يده لا يقدم له سوى صورة واحدة لقرص الشمس. أما الصورة الثانية فلم تكن تظهر إلا عندما يحرك البلورة حركة دائرية، وفي هذه الحالة تختفي الصورة الأولى، الشيء الذي يدل على أن انعكاس الضوء يغير من خصائصه في ظروف معينة. وتلك هي ظاهرة الاستقطاب التي اكتشفها مالوس صدفة، مثلما اكتشف نيوتن من قبل وبالصدفة كذلك، ظاهرة الطيف. إن الصدفة في العلم تلعب دوراً كبيراً.

أما ظاهرة الانعراج (أو الانحراف أو الحيود) La diffraction فهي نفس الظاهرة التي تخيلها أصحاب نظرية التموج في ردهم على أنصار النظرية الجسيمية بخصوص الظل. فلقد ثبت فعلاً أن الجسم الصغير الذي يبلغ في صغره مستوى صغر الموجة الضوئية لا يرسل ظلاً متظماً، مما يثبت انعراج الأشعة كما تنعرج الأمواج المائية.

بقيت هذه الظواهر الثلاث مستعصية على النظرية الجسيمية، على الرغم من المجهودات التي بذلها نيوتن لتفسير ظاهرة مماثلة اكتشفها بنفسه، ظاهرة الحزمات الضوئية الملونة، Les anneaux colorés. فلقد لاحظ نيوتن أنه عندما يسلط الضوء الأبيض على صفحة رقيقة مثل صفحة الزيت على الماء، أو كمية قليلة من الهواء المحصور بين صفحتين من الزجاج، يتحوّل - هذا الضوء الأبيض - إلى حلقات، أو حزمات، ملونة. وتلك ظاهرة أساسية من ظواهر التدخل حاول نيوتن تفسيرها في اطار نظريته الجسيمية، ولكن تفسيره جاء معقداً إلى أبعد حد بحمل سهاماً من التصور الجزيئي والتصور الموجي معاً.

كان لا بد، إذن، من البحث عن طريقة تمكن من تفسير هذه الظواهر الضوئية الجديدة الأساسية. ولم يكن ذلك ممكناً إلا بالرجوع إلى النظرية الموجية. وهذا ما فعله العالم الفرنسي فرينل Fresnel (١٧٨٨ - ١٨٢٧). كان فرينل مهندساً في القناطر والطرق، ففصل من عمله وذهب إلى البادية وأخذ يدرس بعض مشاكل علم الضوء دون أن يكون لديه هناك ما يكفيه من الأدوات والتجهيز العلمي. ومع ذلك توصل باستعمال مرآتين (مرآتي فرينل) إلى الحصول على ما يسمى هدب التداخل Les franges d'Interférences، وهي المناطق المتعاقبة من الضياء والظلمة التي تنشأ من تداخل الضوء المنسجم (أحد ألوان الطيف السبعة). ثم فسّر هذه الظاهرة، في اطار النظرية الموجية، كما يلي:

من المعروف أن الموجة تتألف من قمة وقعر. فإذا توافقت موجتان (قمة مع قمة وقعر مع قعر) حدث ضياء، وإذا تعاكست (قمة مع قعر وقعر مع قمة) حدثت الظلمة، ذلك لأن توافق الموجتين يزيد من قوتها. أما تعاكسها فيجعل الواحدة منها تلغي الأخرى، تماماً كما يحدث لقطعة من الفلين على الماء المتموج، تارة نشاهدها ترتفع بذبذبة قوية لأن الأمواج

مترافقة يقوي بعضها بعضاً، وتارة نشاهدها ساكنة في محلها رغم تموج الماء، وذلك حينما تكون الأمواج متعاكسة (يلغي بعضها قوة بعض).

وعندما عاد فرينل إلى باريس أخذ يدرس ظاهرة الانعراج Diffraction أي خروج الضوء عن امتداده المستقيم كما يحدث عند مروره بثقب صغير جداً، فأثبت أنه إذا وضعنا عائقاً صغيراً، أمام مصدر ضوئي، وثقبناه ثقباً ضيقاً جداً، فإن الضوء المرتسم على الشاشة والمار من الثقب يأخذ في التضاؤل حتى يصير ظلمة. ونستطيع أن نفهم هذه الظاهرة بوضوح أكثر إذا استعملنا ثقبين صغيرين متجاورين جداً، وأمررنا منهما ضوءاً منسجماً. ففي هذه الحالة نشاهد على الشاشة حزمة مظلمة وأخرى ملونة تضعف تدريجياً لتمتزج مع الظلمة. وتفسير هذه الظاهرة هو أن الموجتين الضوئيتين تلغي احداهما الأخرى عندما تلتقي قمة هذه مع قعر تلك فتحدث الظلمة، وتزيد الواحدة منهما الأخرى قوة عندما تلتقي قمة هذه بقمة تلك فيحدث الضياء.

هكذا تغلب فرينل على ظاهرتي التداخل والانعراج بالرجوع إلى النظرية الموجية. وقد تعززت هذه النظرية أكثر عندما استطاع فرينل نفسه أن يفسر بها ظاهرة الاستقطاب. لقد افترض أن تواتر الاشعاع الضوئي يتم، لا في امتداد الضوء وانتشاره، بل في اتجاه عمودي على الأقل. وهذا يعني أن الموجات الضوئية موجات عرضانية Transversales وليست طولانية Longitudinales (الموجة الطولانية هي تلك التي تتبع انتشار الماء، أي اتجاهه حين التموج. أما الحركة التي تتم عمودياً على هذا الاتجاه الطولاني والتي تتسبّب في ارتفاع قطعة الفلين، في المثال السابق، فهي تعكس واقعاً جديداً هو الموجة العرضانية التي يمكن ملاحظتها بسهولة في تموج الجليد. هذا والموجات الصوتية موجات طولانية، أما الضوئية فهي عرضانية).

ثلاث ظواهر ضوئية أساسية تمكنت النظرية الموجية - مع فرينل - من تفسيرها، وعجزت النظرية الجسيمية عن تقديم أي تفسير لها، مما يؤكد أن الضوء هو فعلاً عبارة عن أمواج. فكان لا بد من أن تتوارى النظرية الجسيمية التي فرضها نيوتن وتحلّ محلها النظرية الموجية. ولكن مع ذلك بقيت هناك مشكلة «الأثير» الذي لا بد من افتراضه للقول بتموج الضوء. إن التموج يتطلب وسطاً يحصل فيه. فهل ستقبل الأثير، وهو فرضية مزعجة؟

هذه مشكلة أخرى ستجد حلها - أو ما يشبه الحل - في غير ميدان الضوء. نقصد بذلك ميدان البحث في المغناطيس وعلاقته بالكهرباء. وهنا لا بد من الرجوع قليلاً إلى الوراء.. وبالضبط إلى نظرية «الموائع».

تحدثنا قبل عن تطور البحث في طبيعة الكهرباء ورأينا كيف أن العالم الفرنسي كولومب استطاع عام ١٧٨٥ أن يحول الظاهرة الكهربائية إلى مقدار كمي سماه الشحنة. وقلنا إن العالم الأمريكي فرانكلان أدلى يومئذ بفرضية تفسر الكهرباء على أساس أنها عبارة عن مائع (أو سيال) ينتقل من جسم إلى آخر بشكل متصل. وقد أخذ كولومب هذه الفرضية وفسّر بها ظاهرة الجذب المغناطيسي فقال: يتألف المغناطيس من مائعين أحدهما شمالي والآخر جنوبي

يتركزان على طرفي القضيب المغناطيسي، ثم توصل إلى قانون يضبط فعل الجذب والنبذ لقطبي المغناطيس. وتوالت الأبحاث بعد ذلك في الكهرباء والمغناطيس واكتشفت عدة قوانين تضبط خصائصهما وفعلهما، كلاً على حدة، مما جعل منهما فرعين مستقلين متباينين من فروع الفيزياء إلى أن أشرف العقد الثاني من القرن التاسع عشر على نهايته.

ففي سنة ١٨١٩ لاحظ العالم الدنماركي أورستيد Oersted (١٧٧٧ ـ ١٨٥١) صدفة، عندما كان يلقي درساً في التيار الكهربائي على طلبته، أن الأبرة المغناطيسية التي كانت بجوار الأسلاك الكهربائية التي كان يجري عليها تجاربه، تأخذ في الحركة والانحراف كلما مرّ التيار الكهربائي قريباً منها، فاستنتج من ذلك أن التيار الكهربائي ينشر حوله مجالاً مغناطيسياً، مثلما يفعل المغناطيس نفسه. وفي سنة ١٨٣١ استطاع العالم الانكليزي فاراداي Farady (١٧٩١ ـ ١٨٦٧) أن يثبت عكس الظاهرة. فلقد اكتشف أن **المغناطيس يطلق تياراً كهربائياً عندما يحرك. وهذا يعني أن الكهرباء تنشأ بسبب ما يتعرض له المجال المغناطيسي من تغيرات وانقطاعات** (مبدأ التأثير، أو الحث Principe d'Induction). ثم واصل فاراداي دراساته وأبحاثه في ظاهرة التأثير عن بعد (الجذب الكهربائي أو المغناطيسي) فاكتشف سنة ١٨٤٥ أن **المجال المغناطيسي يؤثر في الضوء** المستقطب (ظاهرة الاستقطاب المغناطيسي)، الشيء الذي أثبت وحدد وجود علاقة بين الضوء والمغناطيس شبيهة بالعلاقة الموجودة بين المغناطيس والكهرباء.

هكذا بدأت تظهر بوادر الوحدة بين ثلاثة فروع من الفيزياء: الكهرباء والمغناطيس والضوء. وقد تصدّى العالم الانكليزي **ماكسويل** Maxwell (١٨٣١ ـ ١٨٧٩) لدراسة هذه الظواهر الجديدة، محاولاً ايجاد تركيب لما كان معروفاً من قوانين الكهرباء والمغناطيس بحل اللغز الجديد، فتبين له أن التأثير المغناطيسي والتأثير الكهربائي لا ينتشران انتشاراً آنياً، بل حسب سرعة كبيرة جداً، وعلى شكل أمواج. وقد استطاع أن يحدد بواسطة معادلته المشهورة سرعة هذه الأمواج. **فكانت هي نفس سرعة الضوء (300 ألف كلم في الثانية).**

وإذن، **فالأمواج الكهرطيسية** (الكهربائية ـ المغناطيسية) والأمواج الضوئية لها نفس السرعة، وبالتالي هي ذات طبيعة واحدة. وهكذا أوضحت معادلة ماكسويل الحقيقة التالية:

ـ الضوء عبارة عن أمواج كهرطيسية، أي عبارة عن مجال كهربائي ومجال مغناطيسي ينتشران في آن واحد.

ـ من الممكن إحداث مجالات (أو حقول) كهرطيسية تنتشر بسرعة الضوء.

هكذا أسس ماكسويل ذلك الفرع الهام والأساسي من الفيزياء الكلاسيكية والمعروف باسم **الكهرطيسية** Electromagnétisme، وأكثر من ذلك وأهم، تأيّدت نظريته تجريبياً باكتشاف العالم الألماني هرتز Hertz سنة ١٨٨٨ أمواجاً عرفت باسمه **(الأمواج الهرتيزية)**، وهي أمواج لها خصائص مماثلة لخصائص الكهرباء وتنتشر بسرعة الضوء، ولا تختلف عن

الموجات الضوئية إلاّ بكونها أطول منها. ثم دخلت هذه الأمواج في عالم التطبيق، فكان الراديو وكانت مختلف أجهزة الارسال اللاسلكي.

الضوء عبارة عن موجات، لا عن حبات. هذا ما ثبت في ميدان علم الضوء نفسه مع أبحاث وكشوف فرينل، كما رأينا. وهذا ما تأكّد الآن خارج ميدان علم الضوء، بفضل تقدم الدراسات في الكهرباء والمغناطيس، بفضل نظرية ماكسويل المبنية على معادلة رياضية تمتاز بكامل الصرامة التي تبعد كل شك أو تردد في قبول النظرية الموجية كنظرية تعبر لا عن فرضية، بل عن حقيقة علمية أكيدة.

لقد استرجعت النظرية الموجية مكانتها، وأصبحت وحدها المقبولة علمياً، ومع ذلك بقيت تعاني من صعوبة ملازمة لها منذ البداية. ذلك أنها لا تستطيع أن تستغني عن تلك الفرضية المزعجة، فرضية «الأثير». وعلى الرغم من أن ماكسويل قد قلّل من شأن هذه الفرضية حينها فسر الضوء بكونه عبارة عن أمواج كهرطيسية، فلقد بقي من الصعب، مع ذلك، تصور «ماذا يتموج» حين انتشار الأمواج الضوئية في الفراغ؟ لقد ظل السؤال قائماً ومحرجاً، ومع ذلك سكت العلماء عنه لأن المعادلة الرياضية التي تتوفر عليها النظرية الموجية، معادلة صلبة متينة تمكّن من التوقع التام، الشيء الذي ولد في نفوس العلماء انطباعاً حملهم على الاعتقاد بأن جميع الظواهر الممكن اكتشافها في المستقبل لا بد أن تقبل التفسير بالنظرية الموجية في شكلها الجديد. أما المسائل الجزئية الأخرى كمسألة الأثير، فإن الوقت كفيل بإيجاد جواب عنها، داخل النظرية نفسها.

كان هذا هو الرأي السائد طول العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر. لقد تعززت خلال هذه الفترة ثقة العلماء بأنفسهم، واعتبر كثير منهم أن العلم الفيزيائي قد اكتمل أو قارب الكمال، وأن المسائل التي لم تحل بعد هي مجرد مسائل جزئية لا بد أن تجد حلها في مستقبل الأيام، في اطار النظريات القائمة يومئذ.

ولكن تأتي الرياح بما لا تشتهي السفن، ويأبى العلم إلاّ أن يكسر طوق النزعة الدغماتية التي تحاول الوقوف به عند مرحلة ما من التطور. وهكذا فما إن أطلّ القرن العشرون حتى أخذ البناء الشامخ الذي شيّدته الفيزياء الكلاسيكية منذ غاليليو يتزعزع من أساسه...

لقد سجل عام ۱۹۰۰ بداية ثورة جديدة في مجال الفيزياء، ثورة عميقة هزت الأسس والمفاهيم التي بنى عليها الفيزيائيون علمهم الكلاسيكي. وستكون مسألة «الأثير» منطلقاً **لنظرية النسبية** التي كسرت الاطار الأساسي لفيزياء نيوتن وميكانيكاه، اطار «**الزمان المطلق**»، كما ستكون مسألة «**الاتصال**» التي تبنى عليها النظرية الموجية، هدفاً لضربة جديدة تأتيها هذه المرة من ميدان آخر من ميادين المتصل، نقصد بذلك **ميدان الطاقة** التي كانت تعتبر، بدون نزاع، قائمة على الاتصال، لا على الانفصال. من هنا ستنطلق نظرية **الكوانتا** التي تشكل هي ونظرية النسبية الدعامتين الأساسيتين للفيزياء الحديثة، فيزياء الذرة، وفيزياء النواة[٦].

(٦) بخصوص مراجع هذا الفصل، انظر قائمة المراجع في آخر الكتاب.

الفصل السادس

نظرية النسبية

أولاً: الفيزياء الكلاسيكية ومفاهيمها الأساسية

إن الأفكار والنظريات الفيزيائية التي تتبعنا تطورها في الفصل السابق، والتي بلغت أوجها ـ كما رأينا ـ في أواخر القرن الماضي أصبحت تشكل الآن ما يسمى بـ «الفيزياء الكلاسيكية»، الفيزيائية التي لا تنطبق قوانينها ومفاهيمها إلا على المستوى الماكروسكوبي، مستوى الحياة العادية التي ألفناها نحن البشر. أما على المستويين الآخرين، مستوى العالم الأكبر، عالم الفضاء والسرعات الكبيرة المقاربة لسرعة الضوء، ومستوى العالم الأصغر، مستوى الجسيمات الأولية كالالكترونات وغيرها، فإن هناك قوانين خاصة، وتصورات جديدة تشكل في مجموعها ما يسمى بالفيزياء الحديثة التي تحتل فيها نظرية النسبية ونظرية الكوانتا موقعاً أساسياً.

لقد ارتكزت الفيزياء الكلاسيكية، منذ أول نشأتها مع غاليليو ونيوتن، على جملة من المفاهيم التي استوحيت في غالب الأحيان من الحدس الحسي والقياس البشري العادي، والتي وإن صلحت في ميدان العالم الماكروسكوبي فإنها لا تصلح فيما يتجاوزه كبراً وصغراً. ولذلك كان لا بد من اعادة النظر في تلك المفاهيم والتصورات ومراجعة القوانين المؤسسة عليها، الشيء الذي أدى، في نهاية الأمر، إلى صياغة قوانين ونظريات أعم وأشمل، وجعل من الفيزياء الكلاسيكية حالة خاصة فقط ضمن حالات أخرى تعمها جميعا التصورات الجديدة. وكما سنلاحظ فيما بعد فإن الفرق بين نتائج التصورات الجديدة والتصورات القديمة هو من الضآلة إلى درجة أنه لا يؤثر في الظواهر التي هي من المستوى العادي، مستوى العيان البشري، ولكنه يصبح ذا مفعول كبير عندما يتعلق الأمر بالظواهر التي تنتمي إلى العالم المتناهي في الصغر، عالم الذرة والجسيمات الدقيقة، أو إلى العالم المتناهي في الكبر، عالم الفضاء والسرعات المقاربة لسرعة الضوء.

قبل القيام بإطلالة خاطفة على صرح نظرية النسبية لاينشتين، نرى من المفيد التذكير ببعض المفاهيم الأساسية التي ارتكزت عليها الفيزياء الكلاسيكية، والتي جاءت نظرية النسبية لتهزها هزاً ولتعدلها تعديلاً جذرياً.

لنبدأ **بالزمان**. لقد كانت الفيزياء الكلاسيكية تعتبر الزمان عاماً ومطلقاً[1] ينساب بنفس الشكل، بالنسبة لأي كان، في كل مكان. ومن هنا كان التآني (أو التزامن) Simultanéité يعني حدوث حادثتين أو أكثر في لحظة واحدة بالنسبة لأي مراقبين يتوفران على آلتين لضبط الوقت تسيران على وتيرة واحدة. أما المسافة التي تفصل بينهما، أو حركة أحدهما وسكون الآخر، أو تحركهما معاً تحركاً مختلف السرعة أو الاتجاه، فتلك كلها أمور لا تغير شيئاً من ظاهرة التآني كحقيقة واقعية. نعم قد يختلف التوقيت بين مكان أو آخر أو بين مدينة وأخرى، ولكن هذا الاختلاف يمكن ضبطه بدقة، بعملية طرح أو جمع بسيطة، أو يمكن تجاوزه بالمرة باستعمال «ساعات» متزامنة تسير على وتيرة واحدة. ويمكن أيضاً أن يكون هناك بعض الاختلاف في تسجيل حدوث حادثة معينة بين مراقبين يتوفران على «ساعات» متزامنة مضبوطة، كأن يسمع أحدهما صوت طلقة مدفع قبل الآخر نظراً لقربه من مصدر الطلقة. ولكن، مع ذلك، يمكنهما الاتفاق على وقت حدوث الطلقة المدفعية بالضبط، بإدخال سرعة الصوت في الحساب.

وهكذا، فالتآني، أي حدوث حادثتين أو أكثر في لحظة واحدة، كان ينظر إليه في الفيزياء الكلاسيكية كحقيقة واقعة لا تقبل الشك. ومن ثمة كان ينظر إلى الزمان كإطار عام ينساب بنفس الشكل وبسرعة واحدة بالنسبة إلى جميع المراقبين مهما اختلفت مواقعهم من حيث القرب أو البعد أو السكون أو الحركة. معنى ذلك أن **جميع الملاحظين يستعملون نفس الزمن**، فليس لأي منهم زمان خاص به، لأن الزمان في الفيزياء الكلاسيكية واحد بالنسبة إلى الجميع.

ومثل الزمان، **المكان**، لقد كان المكان يعتبر، هو الآخر، في الفيزياء الكلاسيكية، عاماً ومطلقاً، لا يختلف من مراقب وآخر مهما اختلفت أحوالهم من حيث الحركة والسكون. فإذا قاس أحدنا مسافة معينة ووجد فيها عشرة أمتار مثلاً، فإنه يبقى متأكداً من أن أي شخص آخر مهما كان، إذا قاس نفس المسافة بنفس المقياس (المتر) فإنه سيجد فيها عشرة أمتار أيضاً. وكذلك الشأن بالنسبة إلى المفاهيم والأشكال الهندسية التي ألفناها: فنحن نعتبر المكان مستوياً، ونقول عن الخطين المتوازيين إنهما لا يلتقيان أبداً، وأن زوايا المثلث تساوي دوماً ١٨٠ درجة... إلى غير ذلك من «الحقائق» التي نسلم بها، أو نبرهن عليها بواسطة هذه المسلمات، في اطار الهندسة الأوقليدية التي نعتبرها صالحة ومطابقة للواقع لكونها تتفق مع حدسنا الحسي وتصوراتنا المستخلصة من التجربة. فنحن نعيش في مكان أوقليدي، يتصف بالنسبة إلينا جميعاً، متحركين كنا أو ساكنين، بخصائص معينة كتلك التي ذكرنا.

---

(١) انظر في قسم النصوص نصاً لنيوتن يشرح فيه تصوره للزمان والمكان المطلق والحركة المطلقة.

وكما تعتبر الفيزياء الكلاسيكية الزمان والمكان عامين مطلقين، تعتبر **الكتلة** مطلقة كذلك، بمعنى أنها تبقى هي هي لا تنقص ولا تزيد مهما اختلفت الأحوال واختلف المراقبون لها. فإذا وزنت جسماً ووجدت فيه كيلوغراماً واحداً، مثلاً، فإني أبقى متيقناً من أن أي شخص آخر، أينما كان سيجد في نفس الجسم نفس الوزن إذا استعمل ميزاناً في مثل دقة ميزاني. إن الكتلة، في الفيزياء الكلاسيكية، كتلة محفوظة ـ مبدأ حفظ الكتلة، مثلها مثل **الطاقة**: فكتلة الجسم تبقى هي هي لا تتغير، لا مع الزمن، ولا مع الحركة. نعم قد تكتسي الجسم أحوال مختلفة وقد تعتري شكله ومظهره بعض التغيرات، ولكن، مع ذلك تبقى كتلة محفوظة كما كانت، لأن المادة لا يضيع منها شيء. إنها لا تزيد ولا تنقص، فما ينقص من جسم معين ينضاف إلى جسم آخر، وهكذا يبقى المجموع واحداً.

ومن المبادىء التي قامت عليها الفيزياء الكلاسيكية **مبدأ العطالة** (أو القصور الذاتي) Inertie. وقد رأيناه مع غاليليو في تحليل ظاهرة سقوط الأجسام[3]. وينص هذا المبدأ على أن الجسم يبقى ساكناً أو يستمر في حركته على خط مستقيم وبسرعة ثابتة ما لم يكن خاضعاً لتأثير قوة خارجية. كما رأينا كيف صاغ نيوتن قانون الجذب العام الذي يحدد العلاقة بين الكتلة والمسافة والزمن، الشيء الذي يمكن من تحديد سرعة الأجسام المتجاذبة إذا عرفت كتلتها والمسافة الفاصلة بينها، ومن تحديد المسافة إذا عرفت السرعة والكتلة، ومن تحديد الكتلة إذا عرفت المسافة والزمن، كل ذلك بشكل مباشر وبطريقة بسيطة (ينص قانون الجاذبية على أن الجسمين ينجذبان بشكل يتناسب طردياً مع كتلتيهما، وعكسياً مع مربع المسافة الفاصلة بين مركزيهما).

نعم، لقد كانت الفيزياء الكلاسيكية ـ ولا زالت ـ تراعي النسبة بين الأطوال والمسافات والسرعة والكتلة. من ذلك، مثلاً، اني إذا قسمت هذا الثوب ووجدت فيه ثلاثة أمتار، وقسمت ثوباً آخر ووجدت فيه أربعة أمتار، فإن الفارق وهو متر واحد، نسميه **الطول النسبي** للثوبين. وكذلك الشأن في السرعة: فإذا كنت راكباً سيارة تسير بسرعة ١٢٠ كلم في الساعة، وكانت هناك سيارة أخرى تسبقني وتسير بسرعة ١٠٠ كلم في الساعة، فإن السرعة النسبية بين السيارتين هي ٢٠ كلم في الساعة. وهذا يمكنني من تحديد المكان والزمان اللذين سألحق فيهما بالسيارة التي تسبقني وتسير في نفس اتجاه سيري. أما إذا كنت أسير بسرعة ١٢٠ كلم في الساعة والتقيت بسيارة تسير بـ ١٠٠ كلم في الساعة، عكس اتجاهي، فإن السرعة النسبية بين السيارتين ستصبح حينئذ ٢٢٠ كلم في الساعة. وهكذا، فعلى الرغم من أن سرعتي بالنسبة إلى الأشياء الثابتة كالأشجار الموجودة على جانبي الطريق، هي دوماً ١٢٠ كلم في الساعة، إلا أن السرعة التي يمكن حسابها هي في اللحظة التي تلتقي فيها السيارتان في اتجاه معاكس. وهكذا تختلف السرعة النسبية باختلاف اتجاه المتحركين. فإذا كان اتجاههما واحداً، كانت السرعة النسبية هي عبارة عن الفرق بين سرعتيهما، أما إذا كانا

---

(٣) الفصل الأول من القسم الأول من هذا الكتاب.

يسيران في اتجاهين متعاكسين، فإن السرعة النسبية هي مجموع سرعتيها معاً. كل ذلك درسته الفيزياء الكلاسيكية وضبطته بقوانين تركيب السرعات.

لقد تغيّرت هذه المفاهيم والتصورات بشكل جذري مع ظهور نظرية النسبية لاينشتين. إن هذه النظرية تعتبر الزمان والمكان والكتلة معطيات تتغير وتختلف اختلافاً كبيراً عن حدسنا الحسي وتصورات الفيزياء الكلاسيكية: الطول يتغير! والثوب الذي طوله متر واحد، مثلاً، بالنسبة إلى شخص، قد يصبح طوله بضع سنتيمترات بالنسبة إلى شخص آخر! وكذلك الشأن في الزمان فما يحسبه ملاحظ ما بعشرات السنين يقيسه ملاحظ آخر ببضع ساعات! والجسم الذي يزن غراماً واحداً، قد يصبح ذا وزن خيالي. وبضعة غرامات من المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة بإمكانها، إذا انفجرت، أن تمحو من الوجود جزيرة بأكملها! وأكثر من ذلك تدمج نظرية النسبية بين الزمان والمكان في عالم ذي أربعة أبعاد (الطول والعرض والعمق والزمان)، عالم يتخذ فيه المكان شكلاً منحنياً، لا مستوياً كما اعتدنا القول، وتصبح فيه المادة عبارة عن سلسلة من التجاعيد (كتجاعيد المياه) في بحر من الزمان ـ المكان!

نعم إن هذا جد لا هزل. لقد قلبت نظرية النسبية المفاهيم والتصورات الفيزيائية القديمة رأساً على عقب. ولكن يجب أن نفهم ذلك في اطاره العلمي، اطاره الصحيح. ولنبدأ بمفهوم أساسي في هذا الاطار، مفهوم «المنظومات المرجعية».

ثانياً: المنظومات المرجعية وأنواعها

العلم كله يقوم على القياس. هذا ما قلناه مراراً. وعندما أقيس شيئاً، فإني أقيسه بالنسبة إلى شيء آخر اتخذه مرتكزاً. وجملة المرتكزات التي استند عليها لتحديد شيء من الأشياء في المكان أو في الزمان، أو فيهما معاً، تسمى بـ «المنظومة المرجعية» Système de reférence أو بـ «منظومة الاحداثيات» Système de coordonneés. فتحديد نقطة ما على مستقيم نقول إنها تبعد بكذا عن نقطة أخرى نعرفها ونرتكز عليها في القياس. قد تكون النقطة ـ المرتكز، أو النقطة المرجعية، هي نقطة بداية جزء المستقيم، أو قد تكون أية نقطة اخرى اصطلحنا على اتخاذها مرجعاً ومستنداً لقياساتنا. ونفس الشيء نفعله لتحديد جسم ما يوجد على سطح معين. فلتحديد نقطة ما على أرض هذه الغرفة استعمل احداثياً للطول وآخر للعرض، وأقول إنها تقع على مسافة كذا من الجدار الذي يمثل طول الغرفة، وعلى مسافة كذا من الجدار الآخر المجاور له الذي يمثل العرض. وبإمكاننا أيضاً تحديد موقع المصباح المدلى وسط الغرفة، وذلك بقياس بعده عن الجدارين المذكورين وعن سقف الغرفة (أو أرضها)، ونفس الشيء نفعله عندما نريد قياس موقع جسم متحرك. فبإمكاننا تحديد موقع سيارة ما إذا عرفنا سرعتها واتجاهها ومنطلقها.

هذا الشيء واضح، ولكن علينا أن ننتبه إلى أن قياساتنا هذه مبنية على مبدأ أساسي، هو أننا نعتبر أنفسنا ساكنين غير متحركين. أما إذا كان الملاحظ يركب سيارة تسير بسرعة

٤٠ كلم في الساعة ويريد أن يحدد موقع شيء من الأشياء، ساكناً أو متحركاً، فإن عليه أن يأخذ في اعتباره سرعته هو، بالاضافة إلى سرعة ـ أو سكون ـ واتجاه ذلك الشيء، طبقاً لقوانين تركيب السرعات التي أشرنا إليها سابقاً. وفي هذه الحالة ـ حالة حركته ـ ستكون منظومته المرجعية هي السيارة التي يركبها، مثلما كانت منظومته المرجعية هي المكان الذي كان واقفاً فيه عند اجراء قياساته، وهو ساكن. والمهم في الأمر هو أن تكون سرعة المتحرك الذي يقيس موقعه، وكذا سرعته هو إذا كان يقوم بالقياس وهو متحرك، سرعة منتظمة مستمرة على حالة وحدة، لا تزيد ولا تنقص، وأن يكون الاتجاه ـ اتجاهه هو واتجاه المتحرك الذي يريد تحديد موقعه ـ اتجاهاً لا يتغير (= مبدأ العطالة).

والمنظومات المرجعية المبنية على هذين الاعتبارين ـ انتظام السرعة وبقاء نفس الاتجاه ـ تسمى **بالمنظومات المرجعية الغاليلية** (نسبة إلى غاليليو لأنه أقام فيزياءه على مبدأ العطالة)، أما إذا كان المتحرك يسير بسرعة متسارعة (= تزيد أو تنقص، أو يتغير اتجاهها) فإن المنظومة المرجعية التي يستند عليها ستكون حينئذ غير غاليلية. وبعبارة أخرى ان **السرعة النسبية بين منظومتين مرجعيتين غاليليتين سرعة ثابتة في المقدار والاتجاه، وبالعكس من ذلك المنظومات المرجعية غير الغاليلية التي يتغير مقدار سرعتها واتجاهها، بالنسبة إلى أية منظومة مرجعية غاليلية.**

هذا التمييز بين المنظومات المرجعية الغاليلية، والمنظومات المرجعية غير الغاليلية أساسي في نظرية النسبية. وهو المبدأ الذي تنقسم بموجبه إلى نظريتين: **نظرية النسبية المقصورة** Theorie de la relativité restreinte وهي تدرس الحوادث في اطار المنظومات المرجعية الغاليلية، فلا تدخل في حسابها التسارع، و**نظرية النسبية المعممة** Theorie de relativité généralisée وهي تدرس الحوادث في المنظومات المرجعية غير الغاليلية، أي الخاضعة للجاذبية وما ينشأ عنها من تغيّر في السرعة أو الاتجاه.

بعد هذين التمهيدين، ننتقل الآن إلى نظرية اينشتين. ولنبدأ القصة من بدايتها الرسمية، من مشكلة «الأثير».

ثالثاً: تجربة ميكلسن ومورلي

رأينا قبل كيف أن فرينل بعث النظرية الموجية في تفسير طبيعة الضوء وكيف أن ماكسويل قد استطاع تتميم النظرية بالقول إن الموجات الضوئية تنشر حولها مجالاً مغناطيسياً، مما يجعل منها ـ سواء كانت مرئية أو غير مرئية ـ أمواجاً كهرطيسية تتموج عبر بحر من الأثير يعمّ الفضاء وجميع الأمكنة. وبذلك بقيت مشكلة الأثير قائمة.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى تتبعنا تطور البحث في طبيعة الكهرباء، ورأينا كيف انتهى الأمر بالعلماء إلى اكتشاف الالكترونات، أي تلك الحبات المشحونة بالكهرباء السالبة والتي تسري في الأسلاك على شكل قوافل مشكلة التيار الكهربائي. ولما كان الضوء عبارة عن

موجات كهربائية ـ مغناطيسية، فلا بد أن يكون للالكترونات «دخل» في هذه الموجات، وبالتالي لا بد من نظرية تحقق الانسجام بين الكهرباء والمغناطيس والضوء من هذه الزاوية. ذلك ما حاول القيام به العالم الايرلندي لورنز Lorentz (١٨٥٣ ـ ١٩٢٨) الذي قال بفكرة رائدة، مؤداها: **إن تسارع الالكترونات تنشأ عنه موجات كهرطيسية**. وهذا يعني أن موجات الضوء المرئي (ألوان الطيف) والضوء غير المرئي (الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء. . .) ترجع في وجودها إلى الحركة السريعة جداً التي تقوم بها الالكترونات داخل الذرة. **إن تسارع الالكترونات هو الذي يتسبب في قيام مختلف الموجات الكهرطيسية**.

بعد التذكير بهذه المعطيات والتطورات نعود إلى تجربة ميكلسن ومورلي، التجربة التي كان الهدف منها دراسة تأثير حركة الأرض على سرعة الضوء (= أشعة الشمس)، وتأكيد، أو إبطال، وجود «الأثير» كوسط تنتشر فيه الأمواج الضوئية. لقد كان الرأي السائد، منذ نيوتن، أن أشعة الشمس ـ وسرعتها كما هو معلوم ٣٠٠ الف كلم في الثانية ـ تنتقل إلى الأرض عبر الأثير، وبما أن الحركة هي دوماً حركة شيء بالنسبة إلى شيء آخر، كحركة السيارة بالنسبة إلى سطح الأرض الذي تسير عليه، فإن أشعة الشمس، قياساً على ذلك، تتحرك بالنسبة إلى الأثير الثابت الساكن، أو الفضاء المطلق كما قال نيوتن. هذا من جهة، ومن جهة أخرى، فبما أن الأرض تتحرك بسرعة ٣٠ كلم في الثانية بالنسبة لهذا الأثير أو الفضاء المطلق، تارة في اتجاه الشمس، وتارة في اتجاه آخر يبعدها عنها، وذلك حسب موقعها في مدارها حول الشمس، فمن المفروض أن تتغير سرعة أشعة الشمس المتجهة إلى الأرض بتغير موقع الأرض في مدارها حول الشمس، وذلك طبقاً لقانون تركيب السرعات الذي شرحناه آنفاً (السرعة النسبية بين متحركين). وبناء على هذا القانون ستكون أشعة الشمس أسرع أو أقل سرعة حسب ما تكون الأرض تسير متجهة نحو الشمس أو مبتعدة عنها. هذا مجرد استنتاج، فلا بد من تجربة تؤكده. وإذا تأكد تأكدت معه فرضية الأثير.

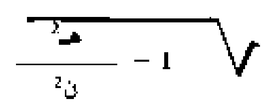
تلك هي التجربة التي قام بها العالم الأمريكي ميكلسن Michelson (١٨٥٢ ـ ١٩٣١) أول مرة سنة ١٨٨١، وهي معروفة باسمه. وقد استعمل فيها جهازاً من المرايا رتبها بطريقة خاصة تمكنه من مقارنة سرعة أشعة الشمس الواردة من الاتجاه الذي تقترب فيه الأرض من الشمس مع سرعة نفس الأشعة الواردة من الاتجاه الذي تبعد فيه الأرض عن الشمس. لقد أسفرت هذه التجربة عن نتيجة سلبية، ومحيرة، إذ كشفت أن سرعة أشعة الشمس في الحالتين هي هي. وفي ١٨٨٧ أعاد ميكلسن التجربة بمساعدة صديقه مورلي Morley، فكانت النتيجة هي هي: **إن سرعة أشعة الشمس لا تتغير، إنها دوماً ٣٠٠ ألف كلم في الثانية سواء كان الملاحظ الذي يقيسها يتحرك في اتجاه الشمس أو في الاتجاه المعاكس**. وبما أن سرعة الأرض في اتجاهها نحو الشمس أو عند ابتعادها عنها هي ٣٠ كلم في الثانية، وبما أن سرعة الأشعة الضوئية هي كما قلنا ٣٠٠ ألف كلم في الثانية، فإن تجربة ميكلسن مورلي تعطينا المعادلة الغريبة التالية:

$$30 - 30.000 = 30 + 300.000$$

رابعاً: التحويل الغاليلي والتحويل اللورنزي

أحدثت هذه التجربة أزمة خطيرة في الفيزياء الكلاسيكية لأنها معطى واقعي لا يتوافق مع القوانين المعمول بها، وفي مقدمتها قانون تركيب السرعات، فراح العلماء يبحثون عن حل. والحل يبدأ باقتراح فرضيات. وكان من بين الفرضيات التي كتب لها النجاح فرضية أدلى بها العالم الايرلندي فيتزجيرالد Fitzgerald مؤداها أن حركة جسم ما تسبب له في انكماش من جهة حركته. وهذا يعني أن أشعة الشمس، وهي من طبيعة كهرطيسية، أي تدخل الالكترونات في تركيبها، تتعرض لانكماش في اتجاه حركتها نحو الأرض. وهذا الانكماش الخفي هو السبب في بقاء سرعة الشمس ثابتة، سواء كانت الأرض تسير في اتجاهها أو تبتعد عنها.

قبل العلماء بهذه الفرضية، وراحوا يقيسون مقدار هذا الانكماش، فالعلم مغرم بالقياس، ولولا القياس لما كان علم. وهكذا لم يمر وقت قصير حتى استطاع لورنز عام ١٩٠٣ تحديد مقدار هذا الانكماش وصياغته في عبارة جبرية، وهي:



ومعناها أن الجسم الذي يسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء يتعرض لانكماش من جهة حركته مقداره جذر: واحد ناقص مربع سرعة ذلك الجسم مقسومة على مربع سرعة الضوء. وواضح من هذه العبارة الجبرية، وتسمى **معامل الانكماش** اللورنزي أن طول الجسم ينعدم تماماً عندما يتحرك بسرعة تساوي سرعة الضوء. فلو فرضنا أن مسطرة طولها ط، وضعناها في صاروخ يسير بسرعة الضوء - وهذا شيء مستحيل كما سنرى - فإن طولها الظاهري ط (عندما تتحرك بسرعة الضوء) سيكون:

$$ط = ط\sqrt{1 - 1} = \sqrt{0} = 0$$

لقد أصبح من الضروري إذن، عندما يتعلق الأمر بحركة مقاربة بسرعة الضوء - ادخال معامل الانكماش هذا عند تحويل القياسات من منظومة مرجعية، إلى منظومة مرجعية أخرى. **لقد كانت طريقة التحويل المستعملة من قبل، والمعروفة بالتحويل الغاليلي** (نسبة إلى **غاليليو) تقوم على أساس أن الزمان ثابت ومطلق**، وأن الجسم يبقى هو هو لا يتغير. فلو فرضنا أننا نريد قياس جسم - أو حادثة - يوجد في منظومة مرجعية تتحرك بالنسبة إلى منظومتنا المرجعية (منظومتنا المرجعية هي الدار البيضاء مثلاً، والمنظومة المرجعية لهذا الجسم هي صاروخ يسير بسرعة عظيمة ومنتظمة)، وأن احداثيات هذا الجسم في منظومتنا المرجعية قبل حركته هي «س» للطول، «ص» للعرض، «ع» للعمق، «ز» للزمن (يمكن أن نفترض

أن هذا الجسم عبارة عن شمعة تحترق في مدة زمنية: «ز»، فإن التحويل الغاليلي يعطينا الاحداثيات التالية التي تحدد ذلك الجسم عند حركته:

$$\text{س}' = \text{س} + \text{هـ}.\,\text{ز} \qquad (\text{هـ = سرعة ذلك الجسم})$$
$$\text{ص}' = \text{ص}.$$
$$\text{ع}' = \text{ع}.$$
$$\text{ز}' = \text{ز}.$$

أما طريقة التحويل اللورنزي فتتطلب ادخال معامل الانكماش (بالنسبة إلى الطول) أو التمدد (بالنسبة إلى الزمان) وهو $\sqrt{1 - \frac{\text{هـ}^2}{\text{ن}^2}}$ حيث ترمز «هـ» لسرعة ذلك الجسم، و«ن» لسرعة الضوء. وبالتالي تصبح احداثياته الجديدة كما يلي:

$$\text{س}' = \frac{\text{س} + \text{هـ}.\,\text{ز}}{\sqrt{1 - \frac{\text{هـ}^2}{\text{ن}^2}}} \qquad (\text{وهذا هو قيمة الانكماش})$$

$$\text{ص}' = \text{ص}.$$
$$\text{ع}' = \text{ع}.$$

$$\text{ز}' = \frac{\text{ز} + \frac{\text{هـ}}{\text{ن}^2}\,\text{س}}{\sqrt{1 - \frac{\text{هـ}^2}{\text{ن}^2}}} \qquad (\text{وهذا هو الزمن المحلي})$$

ومن تأمل هذه المعادلات يتبين أن الطول يميل إلى الانكماش، وأن الزمن يميل إلى التمدد (فلو كان يتعلق بآلة ضبط الوقت لانكمشت حركة عقاربها، أي تثاقلت، وبالتالي يتمدد الزمن ويطول)، الشيء الذي يعني أن لكل منظومة مرجعية تتحرك بالنسبة إلى الأخرى، زمناً خاصاً بها. وإذن، فليس الزمن عاماً ولا مطلقاً.

وكذلك الشأن بالنسبة إلى ضم السرعات، أي تركيبها. إن طريقة التحويل الغاليلية تقوم على جمع السرعات كما هي، فلو فرضنا أن سفينة تسير في البحر بسرعة س 1، وأن مسافراً يسير على ظهرها بسرعة س 2، فإن سرعة هذا المسافر بالنسبة إلى صياد يقف على الشاطىء هي: س = س 1 + س 2. أما طريقة التحويل اللورنزية فتقتضي ادخال المعامل المذكور. وبالتالي يكون حاصل جمع السرعتين كما يلي:

$$س = \frac{س^1 + س^2}{1 + \frac{س^1 . س^2}{ن^2}}$$

فلو فرضنا أن كلباً خيالياً يجري بسرعة 90% من سرعة الضوء، وأن حشرة فوقه تجري بسرعة 50% من سرعة الضوء، لكانت سرعة الحشرة بالنسبة لمن يراقبها، حسب التحويل الغاليلي كما يلي: 0,90 + 0,50 = 1,40% أي أكثر بكثير من سرعة الضوء. أما طريقة التحويل اللورنزية فتعطينا النتيجة التالية:

$$س = \frac{0,90\ ن + 0,50\ ن}{1 + 0,45} = \frac{1,40}{1,54}\ ن = 96,5\%\ \text{من سرعة الضوء}$$

أي أن سرعتها **أقل قليلاً من سرعة الضوء**. ولو أن صاروخين انطلق كل منهما بسرعة 90% من سرعة الضوء في اتجاهين متعاكسين لكانت سرعتها الاجمالية حسب التحويل الغاليلي تساوي: 0,90 + 0,90 = 1,80 أي ما يقرب من ضعفي سرعة الضوء. ولكن طريقة التحويل اللورنزية تعطينا النتيجة التالية:

$$س = \frac{0,90\ ن + 0,90\ ن}{1 + 0,90} \quad \frac{1,80}{1,81} = 99,5\%\ \text{من سرعة الضوء}$$

أي أقل **قليلاً** من سرعة الضوء.

وهكذا فمهما كانت سرعة متحرك ما فإنه لن يبلغ قط سرعة الضوء والنتيجة هي أن **سرعة الضوء هي الحد الأقصى لكل سرعة ممكنة.**

خامساً: نظرية النسبية المقصورة

انطلق اينشتين Einstein (١٨٧٩ ـ ١٩٥٥) ـ وهو ألماني تجنس بالجنسية السويسرية ثم بالجنسية الأمريكية ـ من تجربة ميكلسن ومورلي ومعادلة التحويل اللورنزي، فصاغ سنة ١٩٠٥ نظريته النسبية المقصورة، ثم تابع أبحاثه وخرج بنظرية النسبية المعممة سنة ١٩١٥. لقد استخلص اينشتين من طريقة التحويل اللورنزية نتيجتها المحتومة **فكسر طوق الفيزياء الكلاسيكية** ومفاهيمها الأساسية، كمفهوم الزمان والمكان المطلق والحركة المطلقة، وقوانين تركيب السرعة، وحفظ الطاقة... الخ، منطلقاً من المبدأين التاليين:

١ ـ إن جميع المنظومات المرجعية الغاليلية متساوية من حيث صلاحيتها في القياس، فلا

أفضلية لأي منها على الأخرى. فلو فرضنا مثلاً أن قطارين أحدهما واقف في المحطة والثاني يسير بجانبه بسرعة منتظمة (١٠٠ كلم في الساعة مثلاً)، فلا فرق بين أن يبني المراقب قياساته على أساس أن القطار الأول هو الذي يتحرك أو أن الثاني هو الذي يتحرك. وعادة يشعر المسافرون الذين في القطار الواقف وكأن قطارهم هو المتحرك والقطار الآخر ساكن. وكذلك الشأن بالنسبة إلى قطارين يسيران متوازيين بسرعة منتظمة، فكل منها يصلح، بنفس الدرجة من الصلاحية، لإجراء القياسات، أي لاتخاذه منظومة مرجعية.

٢ - **سرعة الضوء ثابتة لا تتغير، فهي تساوي في جميع الأحوال 300 ألف كيلومتر في الثانية، لا تزيد ولا تنقص، وهي أقصى سرعة ممكنة.** (نشير هنا إلى أن هذا المبدأ مجرد فرضية تستلزمها طريقة التحويل اللورنزية. ويقوم العلماء حالياً (١٩٧٦) في بعض جهات العالم بتجارب على الالكترونات للحصول على سرعة أكبر من سرعة الضوء. وإذا نجحوا في ذلك، فستنهار كلياً نظرية اينشتين. ويظهر أنهم ما زالوا لم يتوصلوا إلى ذلك).

على أساس هذين المبدأين راح اينشتين يبني صرح نظريته. وفيما يلي بعض معالم هذا الصرح.

(أ) نسبية السرعة

إن الفكرة الأساسية التي ينطوي عليها المبدأ الأول هي أن السرعة نسبية دوماً. فسرعة أي جسم، كيفما كان، إنما تقاس بالنسبة إلى جسم آخر. وسواء اعتبرنا الجسم الأول هو المتحرك أو عكسنا الأمر، واعتبرنا الثاني هو المتحرك، فالنتيجة ستكون واحدة ما دامت المنظومة المرجعية الخاصة بكل منها منظومة مرجعية غاليلية (حركة مستقيمة ومنتظمة)، وهذا يعني أنه ليس هناك أي جسم ثابت في الفضاء ثباتاً مطلقاً، وأن لا وجود للأثير، ولا للمكان المطلق. وبالتالي فإن سرعة أي جسم يمكن أن تحدد بقيم مختلفة باختلاف المنظومات المرجعية من حيث الحركة والسكون. فالسيارة المتحركة يمكن أن تحدد سرعتها بقيم مختلفة حسب ما يكون من يراقب سرعتها ساكناً أو متحركاً في اتجاه السيارة أو عكس اتجاهها. فإذا كانت سرعتها هي ١٠٠ كلم بالنسبة إلى رجل واقف على جانب الطريق، فهي - أي سرعتها - تساوي فقط ٢٠ كلم بالنسبة إلى من يتحرك وراءها بسرعة ٨٠ كلم في اتجاهها، وتصبح - سرعتها - ١٨٠ كلم في الساعة بالنسبة إلى من يسير عكس اتجاهها بسرعة ٨٠ كلم.

وبناء على ذلك يمكن أن نعتبر الأرض هي التي تتحرك حول الشمس كما أثبت ذلك كوبرنيك، أو نعتبر الشمس هي التي تدور حول الأرض كما كان يعتقد القدماء. وهذا هو السر في كون قياسات القدماء المبنية على الفرضية الثانية ظلت صالحة ومساوية تقريباً للقياسات الحديثة المبنية على الفرضية الأولى (وهي حقيقة علمية) فلا زلنا نستعمل نفس قياسات الزمن التي استعملها البابليون (عدد أيام السنة، عدد الشهور. الساعات... الخ).

(ب) ثبات سرعة الضوء

إن اعتبار سرعة الضوء ثابتة لا تزيد ولا تنقص يؤدي إلى نتائج غريبة لا يستسيغها حدسنا العام. إن هذا يعني أن سرعة أشعة الضوء المنبعثة من إحدى السفن الفضائية ـ مثلاً ـ تساوي دوماً ٣٠٠ ألف كلم في الثانية، سواء كانت هذه السفينة جاثمة على الأرض، أو كانت تبتعد عنا أو تقترب منا بسرعة ٥٠ ألف كلم في الثانية (إذا أمكن اختراع سفن فضائية تسير بهذه السرعة).

وهذا يختلف تماماً بالنسبة إلى سرعة الصوت، وهو عبارة عن أمواج تنتقل في الهواء مثلما تنتقل الأمواج الضوئية في الفضاء. فلو فرضنا أن ربان الطائرة يقود طائرته بسرعة تقل عن الصوت بمتر واحد في الثانية، وأنه يتوفر على جهاز قياس سرعة الصوت، فإنه سيلاحظ أن أمواج أزيز طائرته تنطلق أمامه بسرعة متر واحد في الثانية. بمعنى أن سرعة صوت طائرته بالنسبة إليه هي متر واحد في الثانية، في حين أنها بالنسبة إلى من يراقبها ساكناً لا يتحرك تساوي ٣٤٠ متراً في الثانية تقريباً (وهي سرعة الصوت). أما فيما يتعلق بالأمواج الضوئية المنبعثة من نفس الطائرة فالأمر يختلف. إنها دوماً ٣٠٠ ألف كلم في الثانية سواء بالنسبة إلى من يركب داخلها، أو بالنسبة إلى من هو جالس على الأرض، أو بالنسبة إلى من يشق الفضاء بسرعة خيالية.

ويزداد الأمر غرابة عندما ندخل ميدان التطبيق، تطبيق هذه السرعة الثابتة التي يتميز بها الضوء على الزمان والأطوال والكتلة. ففي هذه الحالة تتغير القياسات والنتائج. فالملاحظون الذين يقومون بقياساتهم من منظومات مرجعية تسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء يقيسون الأشياء والحوادث بطريقة خاصة. فلكل منهم زمانه الخاص، فلا يستطيعون الاتفاق على تزامن الحوادث. فلا وجود للتآني بالنسبة إليهم. علاوة على أن كلاً منهم يبدو للآخر منكمشاً من جهة حركته وأثقل من العادة. وإذن فهناك تغيرات هامة تلحق الزمان والمكان والكتلة.

(ج) اختلاف الزمن: مشكلة التآني

هناك مثال مشهور يبين مدى التغيرات التي تلحق الزمان، في نظرية النسبية، ويعرف باسم «توامي لانجوفان» نسبة إلى العالم لانجوفان الذي قال به. لنفرض أن طفلاً يبلغ الثانية عشرة من عمره ركب صاروخاً يسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء للقيام برحلة إلى الفضاء ذهاباً وإياباً وأن له توأماً (في مثل عمره) بقي على الأرض ينتظره بعدما ودعه في المطار. وتمر الأيام والسنون على هذا الأخ الذي ظل على الأرض. فينهي دراسته ويتزوج ويرزق أولاداً. وهو دائماً في انتظار أخيه من رحلته الفضائية. وأخيراً عندما يبلغ عمر هذا الأخ الماكث في الأرض ٣٢ سنة، أي بعد ٢٠ سنة من سفر أخيه، يتلقى برقية من هذا الأخير يخبره فيها بأنه سيحط في المطار. فيذهب صاحبنا الذي على الأرض إلى المطار. ويحط الصاروخ، وينزل منه أخوه. فماذا سيشاهد؟ إنه سيرى أخاه وهو لا زال طفلاً عمره ١٢

سنة، أي نفس العمر الذي كان له عند بدء سفره، فيتعجب ويسأله عن القصة فيندهش الأخ العائد من السفر بدوره من هذا الكبر الذي أصاب أخاه. يقول الأخ العائد من السفر، أنا لا أفهم، فها هي ساعتي التي بيدي والتي دققتها على ساعتك لحظة سافرت، تشير إلى أن الرحلة استغرقت أربع ساعات فقط. وأنا لا أشك في هذا! فلقد تناولت معك هنا في المطار طعام الفطور. ولم أتناول في الصاروخ إلاّ وجبة غذاء واحدة. لقد كبرت يا أخي. هؤلاء أولادك! عجيب! وإذن فما عده الأخ المنتظر على الأرض بعشرين سنة لم يكن بالنسبة إلى شقيقه المسافر عبر الفضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء سوى ٤ ساعات! هذا يدل بوضوح على أن الزمان بالنسبة إليهما ليس واحداً، بل لكل منهما زمانه الخاص.

ويؤكد العلماء أن هذه القصة الخيالية ممكنة الوقوع فعلاً لو توفرت وسائل للمواصلات تسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء. وأن السبب في اختلاف الزمن بهذا الشكل لا يرجع إلى طول المسافة التي قطعها المسافر، بل إلى ارتفاع سرعته إلى الحد الذي يجعلها تقارب سرعة الضوء. ويقول اينشتين إنه لو أمكن صنع صواريخ تزيد سرعتها على سرعة الضوء (وهذا ما يتناقض مع مبدأ نظرية النسبية هذه) لأصبح في الامكان رؤية الحوادث المادية والأشخاص الميتين كما كانوا أثناء حياتهم. ذلك لأن فعل الرؤية يعتمد، كما هو معروف، على الصورة التي تنقلها الأشعة الضوئية إلى العين. فالأمواج الضوئية تحمل إلينا صور الأشياء، ولذلك فالناس الذين عاشوا قبلنا منذ سنين أو قرون أو مئات أو آلاف القرون، والذين كانت الأشعة الضوئية الموجودة في وقتهم تحمل صورهم، يمكننا رؤيتهم من جديد لو تمكنا من اللحاق بأمواج تلك الأشعة بواسطة صاروخ تزيد سرعته على سرعة الضوء.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى فبما أن الأمواج الضوئية تستغرق في حركتها بعض الوقت، فإن الصور التي تحملها إلينا تنتمي إلى الماضي ضرورة لا إلى ما نسميه بالحاضر. وهذا هو المبدأ المطبق على مراقبة النجوم. فالنجمة القطبية التي نراها «في هذه اللحظة» ليست النجمة القطبية كما هي الآن هناك في مكانها، بل إن ما نشاهده هو فقط صورتها كما كانت منذ ٤٧٠ سنة، ذلك لأن الضوء الذي ترسله إلينا هذه النجمة والذي يمكننا من مشاهدتها لا يصل إلينا إلاّ بعد ٤٧٠ سنة من تاريخ انطلاقه منها. ولهذا نقول إن النجمة القطبية تبعد عنا بمسافة ٤٧٠ سنة ضوئية. والسنة الضوئية اصطلاح من اصطلاحات علم الفضاء وهو قياس للأطوال، ومعناه المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة بسرعة ٣٠٠ ألف كلم في الثانية! أما الشمس التي ننظر إليها الآن فليست سوى صورة لها كما كانت منذ ٨ دقائق ضوئية لأن ضوء الشمس يستغرق ثماني دقائق للوصول من قرصها إلى الأرض. وكذلك القمر فنحن نراه كما كان منذ ثانية ضوئية.. وهكذا فإن وجه صاحبك الذي يبعد عنك بثلاثة أمتار ليس هو وجهه «الآن» حين تراه، بل وجهه كما كان قبل لحظة زمنية تقدر بجزء من مائة مليون جزء من الثانية.

إن هذا يؤدي بنا إلى طرح مشكلة التآني Simultaneité (أي تزامن الحوادث) من وجهة نظر النسبية. لنفرض أن ملاحظاً، وليكن اسمه أحمد، يجلس على مقعد وسط العربة

الوسطى من القطار بحيث يكون على نفس المسافة من مقدمة القطار ومؤخرته، وليكن هذا القطار يسير بسرعة منتظمة. ولنفرض أن زميلاً له، اسمه ابراهيم، يقف على جانب سكة الحديد يراقب القطار. لنفرض أيضاً أن في القطار جهازاً تمّ ضبطه بشكل يجعله يرسل أشعة ضوئية من مقدمة القطار ومؤخرته معاً، وفي نفس الوقت بمجرد ما يكون أحمد مقابلاً تماماً لزميله ابراهيم عند مرور القطار. إن هذا يعني أن أحمد وابراهيم سيشاهدان في «نفس اللحظة» الشعاعين اللذين يرسلها القطار من مقدمته ومن مؤخرته، فهل هذا صحيح؟

إذا سألنا ابراهيم وهو يقف على الأرض بجانب السكة فإنه سيقول: لقد رأيت الشعاعين معاً في نفس الوقت، بمجرد ما كان أحمد وسط القطار في وضع مقابل لي تماماً. أما أحمد الذي يوجد جالساً في مقعد بمنتصف القطار تماماً، فإنه سيقول: لقد رأيت أولاً الشعاع المنبعث من مقدمة القطار، ثم بعد ذلك الشعاع الآخر المنبعث من مؤخرته. أي أنه شاهد الشعاعين في نقطة تبعد عنه قليلاً في اتجاه مؤخرة القطار. في حين أن أحمد شاهد التقاءهما في وسط القطار تماماً. إن السبب في هذا الاختلاف هو أن أحمد يسير به القطار في اتجاه الشعاع المنبعث من مقدمة القطار. أما ابراهيم فهو ساكن لا يتحرك. وإذن فمن المستحيل على أحمد وابراهيم الاتفاق على نقطة تلاقي الشعاعين في لحظة واحدة بعينها. وبكيفية أعم يستحيل عليهما الاتفاق على تزامن الحوادث، لأن كلاً منهما يقيس الحوادث حسب منظومته المرجعية. والمنظومة المرجعية التي يستند عليها أحدهما تتحرك بالنسبة إلى الأخرى وبالتالي فلكل منهما زمانه الخاص. فلا وجود، في هذه الحالة لزمان عام بينهما.

(د) انكماش الأطوال

وكما أنه لا وجود لزمان عام مطلق، فلا وجود، كذلك، لمكان عام مطلق. فالحيز المكاني الذي يشغله جسم من الأجسام يختلف باختلاف الملاحظين الذين يتحرك بعضهم بالنسبة إلى بعض. لنرجع إلى المثال السابق، ولنفرض أن هناك شجرتين على جانب السكة الحديدية بحيث تكون الواحدة منهما مقابلة لمقدمة القطار والأخرى مقابلة لمؤخرته، وذلك عندما يكون أحمد مواجهاً تماماً لابراهيم. إن ابراهيم الذي يراقب الأمور من الأرض (وهو ساكن) يستنتج أن طول القطار يساوي طول المسافة الفاصلة بين الشجرتين، لأن الشعاعين الضوئيين وصلاه في لحظة واحدة، عندما كان مواجهاً لزميله أي عندما كان مواجهاً لمنتصف القطار تماماً. أما أحمد الذي يجلس داخل القطار وفي منتصفه تماماً، فإنه يستنتج شيئاً آخر. إن الشعاع الضوئي المنبعث من مؤخرة القطار لم يصله إلاّ بعد برهة من وصول الشعاع الآخر المنبعث من مقدمة القطار. وبما أنه يعلم أن سرعة الضوء ثابتة لا تزيد ولا تنقص، فإنه سيفسر تأخر وصول الشعاع المنبعث من مؤخرة القطار بكون هذه المؤخرة لم تكن قد وصلت بعد إلى الشجرة الأولى عندما كانت مقدمة القطار مقابلة تماماً للشجرة الثانية الشيء الذي يعني أن القطار - في نظره - أطول من المسافة الفاصلة بين الشجرتين. وهكذا فالقطار المتحرك أطول بالنسبة إلى من يركب عليه منه بالنسبة إلى من يراقبه من الخارج.

ونفس الشيء يقال بالنسبة إلى الأشياء الموجودة داخل القطار. فالذي يراقبها من

. الخارج تبدو له أقصر مما هي عليه داخل القطار، مثلما تبدو الأشياء الموجودة خارج القطار أقصر بالنسبة إلى من يراقبها من داخل القطار، و «عادية» بالنسبة إلى من يراقبها على الأرض. والسبب في هذا الاختلاف راجع كما قلنا إلى أن المراقب الأول يستند في قياساته على منظومة مرجعية (القطار) تختلف عن المنظومة المرجعية التي يستند عليها الثاني (الأرض). وهو اختلاف راجع إلى كون الواحدة منها تتحرك بالنسبة إلى الأخرى.

(هـ) تمدد الكتلة وتحوّلها إلى طاقة

وكما يختلف الزمان والمكان باختلاف المنظومات المرجعية التي يرتكز عليها من يراقبون الحوادث، تختلف كتل الأجسام كذلك باختلاف سرعة هذه الأجسام. المبدأ الأساسي في هذا المجال هو التالي: **تتوقف كتلة جسم ما على حركته، فهي تزداد بازدياد السرعة. وإذا قاربت سرعة ذلك الجسم سرعة الضوء مالت كتلته إلى اللانهاية.**

ليس هذا وحسب، بل إن نظرية النسبية تربط بين الكتلة والطاقة ربطاً لا انفصام له. فالطاقة لها كتلة مهما كان نوع هذه الطاقة (الحرارة مثلاً لها وزن: الجسم يزن أكثر عندما ترتفع درجة حرارته منه عندما تنخفض) وعندما يشع جسم ما فإنه يفقد جزءاً من كتلته. وكتلة جسم ما، مهما صغرت، تتحول إلى طاقة عظيمة، وهكذا ينهار مبدأ حفظ الكتلة في الفيزياء الكلاسيكية، وتصبح الكتلة شكلاً من أشكال الطاقة وحسب، وبهذا الاعتبار، فالذرة مثلاً عبارة عن طاقة مكثفة في نقطة صغيرة من الحيز الذي تشغله، طاقة يمكن أن تنطلق على شكل ضوء وحرارة يعمّان المنطقة المحيطة بها. فلو فرضنا أن جسماً كتلته غرام واحد (أي وزنه غرام واحد تحول كله إلى طاقة، فإنه سيعطينا ما يعادل الطاقة (الحرارية والضوئية) التي يمكن أن نحصل عليها بإحراق ٣٠٠٠ طن من الفحم الحجري (ومن هنا القنبلة الذرية). ويمكننا أن «نتخيل» مقدار الطاقة التي يمكن أن تتحول إليها كتلة ما إذا عرفنا أن الطاقة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء (ط = ك $ن^2$) علماً بأن سرعة الضوء هي ٣٠٠ ألف كلم في الثانية.

كل هذه التغيرات التي تحدثنا عنها لا يمكن مشاهدتها حسّياً حتى ولو أمكن القيام بالتجارب المذكورة، باستثناء ما يتعلق بالزمان. فالزمن وحده هو الذي يمكن الشعور باختلافه من ملاحظ لآخر. أما ما يلحق الأطوال من انكماش والكتلة من تمدد فلا يمكن ادراكه حسياً، فالحساب وحده هو الذي يدل على ذلك. والسبب الأساسي في هذه التغيرات من الناحية الحسابية هي العبارة الجبرية التي تدخل في التحويل اللورنتزي:

$$\sqrt{1 - \frac{هـ^2}{ن^2}}$$

، كما رأينا ذلك قبل.

سادساً: نظرية النسبية المعممة

جميع ما تقدم يتعلق بنظرية النسبية المقصورة التي تدرس الحوادث في إطار المنظومات المرجعية الغاليلية، أي في اطار السرعة المنتظمة المستقيمة. ففي جميع الأمثلة المذكورة كنا نفترض أن الأجسام المتحركة تنطلق من نفس السرعة وتبقى محافظة عليها.

أما إذا افترضنا أن الجسم ينطلق بسرعة معينة عندما يكون ازاء ملاحظ يراقب الأمور من منظومة مرجعية أخرى، ثم تأخذ سرعة ذلك الجسم في الزيادة أو النقصان بشكل منتظم (تزداد أو تنقص بمتر في كل ثانية مثلاً) فإن ما سيجري من حوادث، في هذه الحالة، هو من اختصاص نظرية النسبية المعممة، وهي أكثر صعوبة وتعقيداً. وفيما يلي بعض مرتكزاتها ونتائجها:

١ - السقوط الحر: تساوي مجال الجاذبية مع التسارع

ترتكز نظرية النسبية المعممة، على مبدأ أساسي. نصه كما يلي: **يبقى الجسم في حالة سقوط حر، ما دام غير خاضع لتأثير أية قوة كهرطيسية. ومعنى ذلك أن التسارع والجاذبية متكافئتان، وأنهما معاً عبارة عن سقوط حر.**

لفهم هذا المبدأ لا بد من تمهيد وأمثلة:

لنفرض أن حصاناً يجرّ عربة فارغة مرة، ونفس العربة مملوءة مرة أخرى، وأن هذا الحصان يستعمل أقصى قوته في الحالتين معاً. فماذا سنلاحظ؟ لا شك أننا سنلاحظ أن سرعة الحصان ستكون أكبر عندما تكون العربة فارغة، عنها عندما تكون مملوءة. إن الحصان هنا يمثّل القوة التي تسبب الحركة والسرعة. والعربة في حالة فراغها تمثّل جسماً خفيف الوزن، وفي حالة ملئها تمثل جسماً ثقيلاً، وبما أن القوة التي يستعملها الحصان في الحالة الأولى هي نفس القوة التي يستعملها في الحالة الثانية فإن تغيّر سرعة العربة راجع إلى وزنها (أي كتلتها). وباستطاعتنا تعميم هذه النتيجة فنقول: **تتوقف سرعة جسم ما على كتلته**. فإذا زادت كتلته قلت سرعته. وإذا نقصت كتلته زادت سرعته.

وبناء على ذلك يمكن أن نقارن بين كتلة جسم وكتلة جسم آخر بالنظر إلى سرعتهما: فإذا أخضعنا هذين الجسمين لتأثير نفس القوة، وكانت سرعة كل منهما مختلفة عن سرعة الآخر، قلنا إن الذي يتحرك بسرعة أضعف هو أكبر وزناً أي ذو كتلة أكبر. فإذا كان الأول يسير بسرعة كيلومتر واحد في الساعة والثاني بسرعة ثلاثة كيلومترات في الساعة، قلنا إن كتلة الأول أكبر ثلاث مرات من كتلة الثاني.

إن ههنا إذن، طريقة ممكنة لقياس كتل الأجسام، طريقة تمكننا من قياس الوزن. والكتلة التي نقيسها بهذا الشكل نسميها «كتلة العطالة» masse inerte لأنها مبنية على مبدأ العطالة الذي قال به غاليليو وصاغه نيوتن كما يلي: «يبقى الجسم ساكناً، أو يستمر في حركته

على خط مستقيم وبسرعة ثابتة ما لم يكن خاضعاً لتأثير قوة خارجية»[٣]. لقد انتقلت العربة من السكون إلى الحركة، وهي تنتقل من سرعة أدنى إلى سرعة أعلى (أي تسارع) بفعل قوة الحصان. هذا شيء واضح. ولكن ماذا تمثل قوة الحصان هنا، في ضوء مبدأ العطالة؟

لنفرض أن هذا الحصان يجر العربة المذكورة في أرض خشنة فيها أحجار وتراب وحفر... لا شك أن الحصان (أي قوته) سيلاقي صعوبة في جر العربة لأن الطريق (أي احتكاك العربة مع الأرض) تقاومه. أما إذا فرضنا أنه يجرها في أرض ملساء جداً، فإن عملية الجر ستكون سهلة وبسرعة أكبر، لأن مقاومة الاحتكاك ضعيفة. وإذن فنوعية الطريق هنا تلعب دوراً أساسياً في تحديد السرعة بسبب الاحتكاك والمقاومة. إنه كلما كانت مقاومة الطريق ضعيفة كلما ازدادت السرعة. ولو فرضنا أن العربة أو أي جسم آخر متحرك لا يلاقي أية مقاومة من هذا النوع (أي يسير في الفراغ) لما كنا في حاجة إلى قوة الحصان أو أية قوة أخرى لجعله يتحرك باستمرار، بل إنه يستمر في حركته.

وإذا أخذنا هذه الحقيقة بعين الاعتبار وربطنا بينها وبين ما قلناه قبل، من أن سرعة العربة تكون كبيرة إذا كانت العربة خفيفة، وتكون ضعيفة عندما تكون العربة ثقيلة، فهمنا لماذا سمينا هذه الكتلة ـ كتلة العربة ـ بـ: «كتلة العطالة». هذا من جهة، ومن جهة أخرى، فإذا نظرنا إلى العلاقة بين قوة الحصان وكتلة العربة وتزايد سرعتها (تسارعها) أمكننا استخلاص القانون التالي:

القوة = كتلة العطالة × في التسارع

ومعنى ذلك أن قوة الحصان يمكن تقديرها بالنظر إلى الكتلة التي يجرها (كبيرة أو صغيرة) والسرعة التي يسير بها. فإذا كان هناك حصانان يجران نفس الكتلة بسرعة مختلفة قلنا عن السريع منهما إنه أكبر قوة من الثاني. وإذا كانا يسيران بنفس السرعة ولكن أحدهما يجر كتلة أكبر من الكتلة التي يجرها الآخر، قلنا عن الأول إنه أكبر قوة من الثاني.

لنحتفظ بهذا القانون إلى حين، ولننتقل الآن إلى الطريقة المعتادة التي نقدر بها أوزان الأجسام، طريقة استعمال الميزان. ومعلوم أنه إذا وضعنا جسمين على كفتي ميزان، قلنا عن الذي ينزل بكفته إنه أثقل من الآخر، أي أن له كتلة أكبر. ولكن لماذا ينزل الجسم بكفة الميزان؟ وبعبارة أعم لماذا تسقط الأجسام؟ السبب هو الثقل، أي ما نعبر عنه بجاذبية الأرض. فلو أن جسماً ما لا يخضع لجاذبية الأرض لبقي سابحاً في الفضاء (كما نشاهد داخل السفن الفضائية على شاشة التلفزة حيث يبدو رائد الفضاء وكأنه يسبح في «الهواء»). ولذلك نسمي الكتلة التي نقيسها بهذا الشكل ـ بالميزان ـ «كتلة الثقل» Masse pesante.

. وإذن لدينا طريقتان لقياس كتلة الجسم: إما الطريقة الأولى المبنية على مبدأ العطالة

---

(٣) تحليلنا لظاهرة سقوط الأجسام كما درسها غاليليو، في الفصل الأول من القسم الأول من هذا الكتاب.

وإما الطريقة الثانية المبنية على الجاذبية أي على الثقل. **فهل هناك فرق بين كتلة العطالة وكتلة الثقل؟**

للجواب عن هذا السؤال يجب أن نلاحظ أن الجسم الذي ندفعه أو نجره على الأرض يبقى ملتصقاً بالأرض، بمعنى أن الجاذبية الأرضية لا تؤثر فيه. وبعبارة أصح أنها تؤثر فيه بنفس الشكل والقوة في جميع نقاطه وجميع الأمكنة التي يحتلها في سيره. إن قوة الجذب هنا هي هي، سواء كان الجسم ساكناً أو كان متحركاً، سواء كان يسير بسرعة منتظمة أو بسرعة متسارعة. ومعنى ذلك أن **جاذبية الأرض لا تمارس على كتلة عطالته أي تأثير**. هذا في حين أن حركة الجسم من أعلى إلى أسفل (سقوطه) تخضع ـ كما رأينا ـ لقوة الجاذبية بشكل أساسي. فلو لم تكن هناك جاذبية لما كان هناك ثقل.

وإذن، **فإن الفرق بين كتلة العطالة وكتلة الثقل هو أن الأولى لا تتدخل فيها قوة الجاذبية، أي لا تحددها قوة الثقل، في حين أن الثانية محددة أساساً بقوة الثقل، أي بتأثير الجاذبية.**

وإذا أدركنا هذا بقي علينا أن نتساءل: ما هي العلاقة بين كتلة العطالة وكتلة الثقل، هل هما متساويتان أم لا؟

لقد أوضحت التجربة أنها متساويتان. وهذا ما كان معروفاً منذ غاليليو. وهذا أيضاً ما كانت تراعيه الفيزياء الكلاسيكية، ولكن بدون أن تهتم بالبحث في سبب تساويهما. إن البحث في هذا الموضوع هو ـ كما يقول اينشتين ـ **نقطة الانطلاق الأساسية نحو نظرية النسبية**. فكيف يشرح اينشتين تساوي الكتلتين؟

لنعد إلى غاليليو ودراسته لظاهرة سقوط الأجسام، لقد توصل كما نعرف، إلى نتيجتين أساسيتين هما:

ـ الأجسام تسقط كلها، في الفراغ، دفعة واحدة، وبسرعة كما نعرف، مهما اختلف وزنها. الوزن ـ أو الكتلة ـ لا يؤثر في سرعة سقوط الجسم.

ـ قوة الجاذبية تعوض المقاومة التي يلقاها الجسم الساقط من الهواء (الجسم الثقيل ينجذب إلى الأرض بقوة أكبر من انجذاب الجسم الخفيف، نظراً لكبر وزنه، ولكن كبر الوزن يجعل هذا الجسم معرضاً لمقاومة أكبر من طرف الهواء، فتتساوى سرعة سقوطه مع سرعة سقوط الجسم الخفيف).

وإذا ربطنا هذا بما قلناه قبل، من أن الجسم يخضع للقوة التي تحركه (الحصان) حسب كتلته: يقاوم الحركة بشدة عندما تكون كبيرة جداً، وينصاع لها عندما تكون خفيفة، تبين لنا:

ـ من جهة أن كتلة الثقل تتعلق بقوة الجاذبية.

ـ من جهة أخرى أن كتلة العطالة تتعلق بالقوة الخارجية المحركة. وقد كنا قررنا قبل

أن الجاذبية لا علاقة لها بكتلة عطالة الجسم، وأن الأجسام تسقط كلها في الفراغ بسرعة واحدة.

إذن: **كتلة الثقل تساوي كتلة العطالة.**

ويعبّر الفيزيائيون عن هذه الحقيقة كما يلي: إن تسارع الجسم الساقط سقوطاً حراً يزداد بازدياد كتلة ثقله، وينقص بنقصان كتلة عطالته، وبما أن جميع الأجسام الساقطة سقوطاً حراً تتسارع تسارعاً ثابتاً، فإن كتلة الثقل وكتلة العطالة متساويتان.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى يتضح مما سبق أن القوة التي ينجذب بها الجسم إلى الأرض تتعلق بكتلة ثقله، وشدة مجال الجذب (الجسم الخفيف إذا ألقي به من علو شاهق قد يبقى معلقاً في الفضاء ـ كالريشة ـ نظراً لخفة وزنه من جهة، وبعده عن مركز جذب الأرض حيث تضعف شدة مجال الجذب).

إذن، يمكننا صياغة هذه الحقيقة كما يلي:

(١) القوة = كتلة الثقل × شدة مجال الجذب.

وكنا قد استخلصنا من قبل قانوناً شبيهاً بهذا عندما كنا نحلل كتلة العطالة، وهو:

(٢) القوة = كتلة العطالة × التسارع.

وإذا تأملنا هذين القانونين وربطنا بينهما نستخلص أولاً من (٢) أن:

$$(٣)\quad \text{التسارع} = \frac{\text{القوة}}{\text{كتلة العطالة}}$$

ونستخلص ثانياً بتعويض القوة في المعادلة (٣) بقيمتها في المعادلة (١) ما يلي:

$$\text{التسارع} = \frac{\text{كتلة الثقل} \times \text{شدة مجال الجذب}}{\text{كتلة العطالة}}$$

الشيء الذي يمكن أن نكتبه كما يلي:

$$(٤)\quad \text{التسارع} = \frac{\text{كتلة الثقل}}{\text{كتلة العطالة}} \times \text{شدة مجال الجذب.}$$

وبما أن كتلة الثقل وكتلة العطالة متساويتان، فإن العلاقة:

$$\frac{\text{كتلة الثقل}}{\text{كتلة العطالة}} = 1 -$$

إذن:

(٥) التسارع = 1 × شدة مجال الجذب = شدة مجال الجذب.

ومعنى هذا أن قوة الجاذبية هي نفس قوة العطالة، أي نفس قوة التسارع. فالجاذبية، إذن، بالنسبة إلى اينشتين، ليست قوة، بل هي عبارة عن سقوط حر.

وهكذا فمفهوم السقوط الحر، في نظرية النسبية المعممة يشمل التسارع والقوة والجاذبية. فالأرض التي تدور حول الشمس هي في حالة سقوط حر، وكذلك القمر في دورانه حول الأرض، ومثل ذلك الكواكب الصناعية. والحجر الساقط من أعلى صومعة هو أيضاً في حالة سقوط حر (إذا أهملنا مقاومة الهواء) وكذلك البطل الرياضي الذي يقفز على الحواجز، فهو في حالة سقوط حر (إذا أهملنا مقاومة الهواء). أما الشخص الذي يقف برجليه على الأرض فهو ليس في حالة سقوط حر لأنه خاضع لتأثير الكهرطيسية المنبعثة من الأرض والضاغطة على رجليه من أسفل إلى أعلى.

٢ ـ مثال المصعد

ولنزيد المسألة وضوحاً نقتبس من اينشتين المثال التالي: لنتخيل مصعداً يندفع إلى أعلى بتسارع ثابت وبداخله رجل معه بعض الأدوات المختلفة الوزن، بعضها من القطن وبعضها من الحديد، وأن مراقباً يراقب من الخارج (على الأرض) ما يحدث في هذا المصعد.

سيقول هذا الملاحظ الخارجي: إن منظومتي المرجعية منظومة غاليلية، والمصعد بالنسبة إليّ يتحرك بتسارع ثابت بسبب القوة الخارجية التي يخضع لتأثيرها، ولذلك أرى أن زميلي الذي يوجد في المصعد، يتحرك داخله حركة مطلقة، وأنه لا يستطيع تطبيق قوانين الميكانيكا النيوتونية المبنية على مبدأ العطالة، فهو مثلاً يستطيع أن يقرر ـ كما أستطيع أنا ـ بأن الأجسام التي لا تخضع لأية قوة تبقى ساكنة، إنه وأشياءه ومصعده، خاضع وإياها، لحركة تسارعية ثابتة. وهكذا فلو أطلق من يده قطعة من القطن مثلاً أو قطعة من الحديد لاصطدمت القطعتان لتوهما مع أرضية المصعد، لأن هذه الأرضية تتجه إلى أعلى، وأكثر من ذلك يخيل إليّ أن زميلي ـ وهو داخل المصعد ـ لا يستطيع القفز كما أستطيع أنا، فلو أنه حاول لأدركته في الحين أرضية المصعد لنفس السبب، الشيء الذي يجعل من المستحيل عليه مغادرة أرضية المصعد والقيام بما نسميه: القفز إلى أعلى.

ذلك ما يقوله الملاحظ الخارجي. أما زميله الموجود داخل المصعد فإن له رأياً آخر: إنه يقول، ليس هناك ما يحملني على الاعتقاد بأن مصعدي يوجد في حالة حركة مطلقة. نعم أنا أوافق على أن منظومتي المرجعية، المرتكزة على المصعد ليست منظومة غاليلية، فهي تتسارع فعلاً. ولكني لا أعتقد أن لهذا التسارع أية علاقة مع الحركة المطلقة. إن الأشياء التي أحملها معي ـ القطن والحديد ـ تسقط كلها، لأن المصعد واقع تحت تأثير الجاذبية. إن الأمر بالنسبة إليّ لا يختلف عنه بالنسبة إلى أي ملاحظ على الأرض يفسر سقوط الأجسام بالجاذبية..

هكذا يفسر الملاحظان نفس الحوادث بشكل مختلف: الملاحظ الخارجي يفسر الحركة داخل المصعد بالتسارع الذي يخضع له هذا الأخير، أما الملاحظ الداخلي فهو يفسر نفس الحركة بالجاذبية. وإذن: فالتسارع يكافىء الجاذبية. واختلاف الملاحظين في تفسيراتهما إنما يرجع إلى اختلاف منظومتيهما المرجعيتين. وبإمكان الملاحظ الموجود داخل المصعد أن يفسر الحوادث داخل مصعده إما بالجاذبية كما فعل من قبل، وإما بالتسارع إذا بنى ملاحظاته على كون المصعد يتسارع إلى أعلى مثلما فعل زميله المراقب من الأرض. يبقى بعد ذلك اعتقاد الملاحظ الخارجي القائل إن الرجل الموجود داخل المصعد واقع في حالة حركة مطلقة، غير منتظمة. وهو اعتقاد لا يصمد للنقد، إذ كيف يمكن وصف حركة ما بأنها حركة مطلقة إذا كان بالإمكان الاستغناء عنها وتعويضها بتأثير الجاذبية؟

٣ ـ الطاقة لها كتلة

لنوسع المثال السابق قليلاً حتى تنكشف لنا حقيقة أخرى. ولنفرض الآن أن المصعد يتوفر على ثقب صغير في جداره الأيمن، وأن شعاعاً ضوئياً يدخل عمودياً من الثقب إلى داخل المصعد، وأنه بالتالي يرتسم على الجدار المقابل، مخترقاً الفراغ الموجود داخل المصعد، السؤال الآن هو: هل يسير الشعاع داخل المصعد في مسار مستقيم أم أنه يسلك طريقاً منحرفاً؟

إن المراقب الموجود خارج المصعد سيقول: بما أن المصعد في حالة تسارع إلى أعلى، وبما أن الشعاع يحتاج إلى بعض الوقت ليقطع المسافة التي تفصل بين الجدارين، فإن ارتسامه على الجدار المقابل سيتأخر عن زمن مروره بالثقب، ولو برهة قصيرة. وفي أثناء هذه البرهة سيكون المصعد قد تحرك إلى أعلى، مما يجعل الشعاع يسقط على الجدار المقابل في نقطة منخفضة بالنسبة إلى الثقب وبالتالي لا بد أن يكون مسار الشعاع مساراً منحرفاً إلى أسفل.

أما المراقب الموجود داخل المصعد فإنه يرى رأياً آخر. يقول: بما أن كل ما يوجد داخل المصعد خاضع لتأثير الجاذبية، فليس هناك أية حركة متسارعة، بل فقط تأثير مجال الجذب. وبما أن الشعاع الضوئي «لا وزن له» فإن الجاذبية لا تؤثر فيه، وبالتالي فإنه مساره سيكون مستقيماً داخل المصعد.

لماذا يختلف الرجلان؟

واضح أن الرجل الموجود داخل المصعد يجهل نظرية النسبية، وإلا لما قال أثناء استدلالاته «إن الشعاع الضوئي لا وزن له». وبالتالي لما توصل إلى نتيجة مخالفة لتلك التي قال بها زميله. لقد رأينا أن نظرية النسبية المقصورة تقول إن للطاقة كتلة، وبما أن الضوء طاقة لا بد أن تكون له كتلة. وكتلته هنا من النوع الذي سميناه كتلة العطالة. وبما أن كتلة العطالة تساوي كتلة الثقل كما بينا قبل، فلا بد أن يخضع الشعاع الضوئي داخل المصعد لتأثير الجاذبية، وبالتالي لا بد أن ينحرف قليلاً خلال سيره من الثقب إلى الجدار المقابل، مثله في ذلك مثل أي جسم آخر يطلق بسرعة كبيرة من سهم قوي في اتجاه أفقي. إذ لا بد أن

ينحرف هذا الجسم إلى أسفل بفعل جاذبية الأرض إلى أن ينتهي به الأمر إلى السقوط. وهكذا فلو أن الملاحظ الموجود داخل المصعد أدخل في حسابه كون الشعاع الضوئي يحمل طاقة وأن الطاقة لها وزن لما اختلف مع زميله.

ترى هل تنحرف الأشعة فعلاً بتأثير الجاذبية؟

لقد تأكد العلماء من ذلك أثناء كسوف الشمس عام ١٩١٩. فقد راقبوا شعاع نجم كان يوجد على استقامة واحدة مع طرف قرص الشمس أثناء كسوفها، ولاحظوا فعلاً أن الشعاع قد انحرف قليلاً عند مروره قرب الشمس بسبب تأثير جاذبيتها عليه. وتلك تجربة أكدت، ضمن تجارب أخرى، نظرية النسبية المعممة. ومع ذلك فما زال كثير من العلماء غير مقتنعين بما تقرره من نتائج. وهذا على عكس نظرية النسبية المقصورة التي أصبحت اليوم ضمن النظريات العلمية المؤكدة التي يسلم بها الجميع.

٤ ـ الجاذبية وانحراف المكان

إن المثال السابق يضعنا أمام حقيقة أخرى تقررها نظرية النسبية المعممة، حقيقة كون المكان الذي نعيش فيه، مكاناً منحرفاً لا مستوياً كما نعتقد، وذلك تأكيد لهندسة ريمان على هندسة أوقليدس.

قلنا قبل إن اينشتين يقول: ليست الجاذبية قوة، وإنما هي سقوط حر. والسؤال الذي يخطر بالذهن إزاء هذه الفكرة هو التالي: وإذن ما الذي يسبب في تسارع الأجسام داخل مجال الجذب؟ وبعبارة أخرى لماذا تنجذب الأجسام إلى بعضها؟

يجيب اينشتين: إن الكتلة تسبب في انحراف الفضاء. وبما أن الكون الذي نعيش فيه يشتمل على أجسام ذات كتل هائلة (شموس، نجوم، كواكب، مجرات) فإنه لا بد أن يؤدي ذلك إلى انحراف الفضاء الذي يحيط بهذه الأجسام، أي لا بد أن يكون المكان منحرفاً، تماماً كما يحدث لقطعة من الاسفنج (ابونج) عندما نضع عليها جسماً ثقيلاً. فعندما نضع في وسط قطعة من الاسفنج كرة من الرصاص، تغوص هذه الأخيرة، مسبّبة في انحراف الاسفنج المحيط بها، فيصبح كروي الشكل. ولو أننا أطلقنا جسماً صغيراً (كرة صغيرة من الحديد مثلاً) وتركناه يتحرك بحرية (يسقط سقوطاً حراً) حول كرة الرصاص التي أحدثت ميلاً في الاسفنج لاتخذ ذلك الجسم الصغير مساراً منحرفاً. وهكذا فالأجسام الساقطة بحرية في منطقة يوجد فيها مسار منحرف بفعل كتلة ما، لا بد أن تتبع في خط سيرها شكلاً منحنياً والمسار المنحرف في الفضاء هو الذي يسمى بالجاذبية. وهكذا فإذا كانت ميكانيكا نيوتن تفسر دوران الأرض حول الشمس بقوة الجذب الرابطة بينهما حسب قانون الجاذبية، فإن نظرية النسبية المعممة تشرح ذلك كما يلي: كتلة الشمس ضخمة جداً، وهي لذلك تحدث في الفضاء المحيط بها انحرافاً حولها، والأرض تسير في هذا الانحراف الذي يشكل مدارها حول الشمس.

هل نستنتج من هذا أن الحركة في الكون كلها منحرفة، وأن لا وجود لحركة مستقيمة؟ يجيب اينشتين بالنفي. ذلك لأن الحركة الواحدة قد تكون منحرفة بالنسبة إلى شيء، ومستقيمة بالنسبة إلى شيء آخر. لنتخيل كرة حديد صغيرة، أو حصاة، داخل عجلة السيارة. فعندما تدور عجلة السيارة تتحرك الحصاة داخلها، فتشكل هكذا خطاً منحرفاً يتبع شكل العجلة. ولكن الحصاة تتحرك أيضاً بالنسبة إلى الأرض، وتلامس كل نقطة على طريق السيارة. فهي ترسم هكذا خطاً مستقيماً. وإذن فالمسار الذي تسير فيه الحصاة هو مسار منحرف، إذا نظرنا إليه من حيث علاقته بعجلة السيارة، ولكنه أيضاً مسار مستقيم إذا نظرنا إليه من حيث علاقته بالأرض.

نخلص مما تقدم إلى النتيجة التالية: **وهي أن الفضاء (أو المكان) هو بطبيعته منحرف شبيه بالكرة، فهو مغلق**، تماماً كخريطة الأرض المشخصة على كرة من الجبس، فإذا أنت تتبعت بأصبعك خطاً من خطوطها (خط الاستواء مثلاً) رجع بك إلى نقطة انطلاقك، تماماً كما يحدث لمن يسافر في اتجاه الشرق، والذي لا بد أن يعود من الغرب إلى نقطة انطلاقه إذا سار على «استقامة واحدة». ونقول على «استقامة واحدة» لأننا ألفنا مثل هذا التعبير، وإلاّ فالحقيقة أن خط سير هذا المسافر خط منحرف. وكذلك الشأن بالنسبة إلى جميع الأجسام الساقطة سقوطاً حراً. فلو أننا فرضنا أن مسافراً خيالياً غادر الأرض بصاروخ تقترب سرعته من سرعة الضوء اقتراباً كبيراً (٩٩٪ مثلاً) فإنه لا بد أن يعود إلى الأرض شاء أم كره. وستكون عودته بعد سنة من زمنه الخاص. وهو زمن يختلف اختلافاً كبيراً عن زمن المسافر الخيالي الذي سيقضي سنة من زمنه الخاص على صاروخه (الذي يسير على استقامة واحدة!). سيجد، عند عودته، أن الأرض قد مرّ عليها منذ مغادرته لها، مليارات من السنين. فإذا لم يجد الأرض في مكانها فلا شك أن ذلك سيكون دليلاً على أنها قد أمحت من الوجود خلال هذه الرحلة الطويلة بسبب إحدى الكوارث الطبيعية الخارقة، كانفجار الشمس أو غيرها من المجرات والمجموعات النجمية.

ولنا بصدد هذا المثال ملاحظتان: الأولى تتعلق بكروية المكان، وضرورة عودة المسافر إلى نقطة انطلاقه. والثانية تتعلق بالزمان: لماذا يعيش هذا المسافر الخيالي سنة من زمنه الخاص تعد بمليارات السنين على الأرض؟

بخصوص الملاحظة الأولى يستنتج اينشتين **أن العالم الذي نعيش فيه «عالم نهائي ولكنه غير محدود»**. هو عالم نهائي ـ له نهاية ـ لأنه يشتمل على كمية محدودة ونهائية من الفراغ والمادة. وهو عالم غير محدود لأن المسافر فيه لا يجد ما يعترض حركته: فليس هناك جدار ولا شاطىء ولا أي شيء آخر يحد من سيره. **فالمكان منحن ومغلق**، وبإمكان المسافر أن يستمر في حركته وعلى «استقامة واحدة» إلى غير ما نهاية ولا حد.

أما بخصوص الملاحظة الثانية فواضح أن قصر زمن المسافر الخيالي راجع إلى سرعته العظيمة جداً (قارن هذا مع توأمي لانجوفان) وهكذا يمكن أن نميز ثلاثة أنواع من الزمان:

ـ زمن شخص في حالة سقوط حر، كمن يركب سفينة فضائية تسبح حول الأرض دون أن تكون هناك أية قوة كهرطيسية تؤثر فيها، ولا أي محرك يدفعها أو يجرها، ولا أي شيء يجذبها.

ـ زمن شخص يعيش في الأرض ويراقب الأمور منها، كما نعيش نحن تماماً.

ـ زمن رجل ينطلق به صاروخ بسرعة عظيمة كالمسافر الخيالي الذي تحدثنا عنه. فأي زمن أطول؟

إن زمان الشخص الأول سيكون طويلاً جداً لأنه في حالة سقوط حر وغير خاضع لتأثير أية قوة. ولذلك فهو سيشيخ قبل زميليه الآخرين. (عندما نقول: زمن أطول، نقصد بذلك مرور عدد من السنين أكبر من الزمن الطويل هو الذي يمر بسرعة).

أما زمان الشخص الثاني فهو أقصر من زمان الأول، لكونه واقعاً تحت تأثير جاذبية الأرض. فالأرض تجره معاً خلال حركتها. فهو بالنسبة إلى زميله الأول كنسبة التوأم المسافر إلى الباقي على الأرض في مثال لانجوفان.

وأما زمان الثالث فسيكون أقصر من زمان الثاني، وبالأحرى من زمان الأول، لأنه يركب صاروخاً ينطلق بسرعة، فهو بالنسبة إلى الثاني بمثابة التوأم المسافر بالنسبة إلى التوأم الذي بقي على الأرض في مثال لانجوفان.

وبإمكان القارىء أن يفهم هذا جيداً إذا استحضر في ذهنه طريقة التحويل اللورنزي التي شرحناها قبل.

٥ ـ زمكان اينشتين، أو عالم منكوفسكي

اعتدنا في حياتنا الجارية أن نفصل بين الزمان والمكان. فنحن نقول مثلاً: حدثت الحادثة الفلانية في زمان كذا، وفي مكان كذا، ولا نقول في الزمان ـ المكان. وحينما نتحدث عن المكان نقصد به المسافات التي تفصل بين المدن أو بين البلدان أو بين الأرض وبقية الكواكب والنجوم، أو بين نقطتين أو عدة نقط في هذه الورقة. وحينما نتحدث عن الزمان نقصد «المسافات» الزمانية التي تفصل بين لحظة وأخرى، سواء سمينا هذه «المسافة» ثانية أو دقيقة أو ساعة أو سنة عادية أو سنة ضوئية، وقد اعتدنا النظر إلى المسافات المكانية مفصولة عن «المسافات» الزمانية. فلماذا لا ندمج الزمان في المكان ليصبحا اطاراً واحداً لتحديد الأشياء بدل اطارين اثنين هما: الزمان والمكان؟ ذلك ما قال به اينشتين في نظريته النسبية المعممة حيث يتحدث عن الزمكان (الزمان ـ المكان) L'espace-temps، وقد قال العالم الروسي مينكوفسكي Minkowski بنفس الفكرة، أي بدمج المكان والزمان في عالم واحد عرف بـ «عالم مينكوفسكي». فما معنى هذا؟

من الصعب، بل من المستحيل علينا، تصور هذا العالم «عالم مينكوفسكي» أو زمكان

اينشتين، تصوراً حسّياً مشخصاً، لأننا اعتدنا العيش في مكان أوقليدي ذي ثلاثة أبعاد. إن زمكان اينشتين ـ أو عالم مينكوفسكي ـ عالم رياضي: المعادلات الرياضية وحدها تثبت امكانية وجوده وتحدد خصائصه. ولتقريب هذا العالم الغريب إلى الأذهان يستعين العلماء بأمثلة خيالية، وهذه نماذج منها.

لنبدأ بالتذكير ببعض الخصائص الهندسية لعالمنا الذي ألفناه واعتدناه. إنه عالم يتشكّل من مكان ذي ثلاثة أبعاد (الطول، العرض، العمق). نحن نستطيع أن نحدد موقع هذا المصباح المعلق وسط هذه الغرفة بواسطة الاحداثيات الديكارتية، كما يمكننا تحديد لحظة اشتعال أو انطفاء هذا المصباح أو المدة التي بقي خلالها مشتعلاً، وذلك بإضافة احداثي آخر هو الزمان. فنقول إن هذا المصباح موجود على بعد ثلاثة أمتار من هذا الجدار وعلى بعد مترين من ذلك الجدار وعلى بعد مترين ونصف من السقف وأنه قد ظل مشتعلاً لمدة نصف ساعة من دقيقة كذا إلى دقيقة كذا. ولكن بإمكاننا أن نحدد هذا المصباح مكانياً فقط، أو زمانياً فقط. فتحديد موقعه لا يتوقف على الزمن، كما أن تحديد زمن اشتعاله لا يتوقف على موقعه. وهذا معنى قولنا إننا اعتدنا الفصل بين المكان والزمان وأننا نعتبرهما اطارين مستقلين أحدهما عن الآخر.

إن نظرية النسبية ترفض هذا الفصل، لأنه فصل يقوم على اعتبار الزمان والمكان اطارين مطلقين، وقد رأينا قبل كيف أن الزمن يختلف من ملاحظ إلى آخر، فيكون «عادياً» بالنسبة إلى من هو على الأرض، و «غير عادي» بالنسبة إلى من يتحرك في الفضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء. فلكل ملاحظ زمانه الخاص، وأيضاً لكل ملاحظ مكانه الخاص. فالمكان الذي تحدده المسطرة (أي المسافة بين طرفيها، أي طولها) يختلف طولاً وقصراً بين ملاحظ وآخر، إذا كان أحدهما يتحرك معها في اتجاه طول المسطرة. فالطول هنا يتعلق بالحركة، والحركة زمان. وإذن فالزمان والمكان مرتبطان في نظرية النسبية ويتعلق أحدهما بالآخر. فلو أن هذه الغرفة مصنوعة من الحديد أو البلاستيك المقوى، ولو أمكننا الدفع بها في الفضاء بسرعة مقاربة لسرعة الضوء في اتجاه الجدار الذي يمثل الطول فيها، لاختلف هذا الطول بالنسبة إلى من يقيسه على الأرض عنه بالنسبة إلى من يوجد فيها، وذلك بسبب اختلاف المنظومة المرجعية التي يستند عليها الأول عن المنظومة المرجعية التي يستند إليها الثاني.

إننا الآن نفهم هذا لأننا نعرف كيف نحدد الأشياء والحوادث بواسطة قوانين ميكانيكا نيوتن وقوانين نظرية النسبية. إننا متقدمون في معارفنا وعلومنا... ولكن تقدمنا هذا تقدم نسبي، هو تقدم بالنسبة إلى من هم دوننا، ولكنه تخلف بالنسبة إلى من هم أكثر منا تقدماً.

لنتصور كائنات أقل منا تقدماً وأدنى منا درجة، كائنات تعيش في مكان ذي بعدين فقط، لا تعرف إلاّ الطول والعرض. أما الارتفاع أو العمق فلا تستطيع تصوره ولا تخيله. ولتقريب المثال إلى الأذهان لنتخيل أن الممثلين الذين نشاهدهم على شاشة التلفزة (وهي مكان ذو بعدين فقط الطول والعرض)، هما في الشاشة، كائنات حقيقية تعيش فعلاً كما

تشاهدها. إن هذه الكائنات التلفزية تستطيع فعلاً تحديد أية نقطة على أرضها (على الشاشة) بواسطة بعدين فقط: الطول والعرض. ولكنها لا تعرف العمق. فالمصباح المدلى في غرفة هذه الكائنات (في الشاشة) مندمج في سطحها، ويكفي لتحديد موقعه معرفة بعده عن جدار الطول وجدار العرض.

ولو أنك قلت لهؤلاء المثلين إنكم لا تحددون موقع المصباح بالضبط لأنكم تغفلون بعده الثالث، أي الارتفاع، لما فهموك، ولتساءلوا مندهشين: وما معنى العمق؟ ليس في عالمنا عمق، فهو طول وعرض ولا شيء غير ذلك. وإذا سألتهم: أية هندسة تستعملون لأجابوك: نحن نستعمل الهندسة الأوقليدية، فبإمكاننا أن نرسم مثلثات ومربعات ومكعبات ودوائر وخطوطاً متوازية، إن زوايا المثلث عندنا تساوي ١٨٠ درجة لأنه من نقطة خارج مستقيم لا يمكن رسم إلاّ مواز واحد لهذا المستقيم. ولو سألتهم، وما المستقيم عندكم؟ لأجابوك: إنه أقصر مسافة بين نقطتين.

لنفرض الآن أن هذه الكائنات التلفزية تعرضت لحادث خطير، أن الشاشة التي يعيشون فيها، والتي تشكل مكانهم الخاص، قد التوت بفعل الحرارة وأصبحت عبارة عن نصف كرة. إنهم في هذه الحالة سيندهشون، لأن قياساتهم ستتغير. إن زوايا المثلث لم تعد تساوي ١٨٠ درجة، والمستقيم أصبح منحنياً يحاكي إنحناء سطح الشاشة (أي المكان الكروي الذي أصبحوا يعيشون فيه الآن). ورغم ذلك كله فلا بد أن يتأقلموا مع هذا الواقع الجديد. لا بد أن يغيروا هندستهم، لأن الهندسة الأوقليدية لم تعد صالحة لهم، وربما سيهتدون إلى هندسة أخرى كهندسة ريمان مثلاً. وحينئذ سينشئون ميكانيكا جديدة، وفيزياء جديدة. . وعلماً جديداً مبنياً على تصور جديد للمكان، تصور يعتبر المكان كروياً.

لقد «تقدمت» هذه الكائنات فعلاً، وأصبحت تمتاز عنا بعلومها وهندستها. وهي أكثر دقة من هندسة أوقليدس وعلومنا المبنية عليها. ولكن مع ذلك ما زلنا نتفوق عليها من حيث أننا ندرك العمق وهي لا تدركه. فلو أننا أخذنا أحد هؤلاء المثلين وسجناه في غرفة لا سقف لها، غرفة يبلغ ارتفاع جدرانها بضعة سنتيمترات فقط. لما استطاع الهرب قط. أما نحن فنستطيع بسهولة الافلات من هذا السجن «المفتوح»، وما ذلك إلاّ لأننا ندرك البعد الثالث.

الكائنات التي تحدثنا عنها مسجونة في هذه الغرفة العارية لأنها تعيش في عالمين لهما بعدان فقط. أما نحن فنستطيع الافلات منه بسهولة لأننا ندرك البعد الثالث، ونعيش في عالم ذي ثلاثة أبعاد. وما دام الأمر يتوقف كله على بعد واحد اضافي، فلماذا لا نتصور كائنات أخرى أرقى منا تعيش في عالم ذي أربعة أبعاد، هي أبعادنا المكانية المعروفة مضافاً إليها الزمان كبعد رابع؟

لنفرض أن أحدنا قبض عليه من أجل أفكاره هذه، وأودع في زنزانة مغلقة: سقف وأربعة جدران. فهل يستطيع الافلات من هذا السجن؟ هيهات! إن الزنزانة مغلقة من

أبعادها الثلاثة. فإذا سار إلى اليمين اعترضه جدار وإذا سار نحو الشمال اعترضه جدار آخر، وإذا تسلق الجدار اعترضه سقف. لنتخيل الآن كائناً غريباً أكثر «تقدماً» منا، يعيش في عالم ذي أربعة أبعاد فهل يستطيع الافلات من هذه الزنزانة الرهيبة؟ نعم بكل تأكيد. تماماً مثلما نستطيع نحن الافلات من زنزانة لا سقف لها. ولكن كيف ذلك؟ لا شك أن جميع المعتقلين في سجون هذه الدنيا يتحرقون شوقاً إلى معرفة الطريقة. ولكن هل يستطيعون استعمالها؟ كلا، مع الأسف: إنهم يعيشون في عالم ذي ثلاثة أبعاد. وقد وضع السجن على قدهم!

ولكن لنفرض أن أحدهم قد انقلب بقدرة قادر إلى كائن عجيب غريب يدمج الزمان في المكان، أي يعيش في عالم ذي أربعة أبعاد. إنه في هذه الحالة سيفلت بكل سهولة. وهذه هي الطريقة.

إنه سيسافر عبر البعد الرابع، أي في الزمان، ويرجع القهقرى على خط الزمن إلى ذلك اليوم الذي كانت فيه هذه البقعة التي بني فيها السجن عبارة عن أرض عارية، وحينئذ يكفيه أن يمشي على قدميه بضعة أمتار، آمناً مطمئناً، حتى يغادر حدود السجن، ثم يعود ثانية على خط الزمان إلى أن يلحق زمان اخوانه المعتقلين المساكين الذين ما زالوا يعيشون من وراء القضبان! لقد غير صاحبنا زمانه فغير موقعه، فأفلت من السجن قبل أن يكون السجن، وها هو يعود إلى نفس زمان زملائه المعتقلين... ولكن خارج السجن لا داخله. وإذا خشي أن تلقي السلطات القبض عليه ثانية، وإذا كان لا يرغب في اعادة الكرة ثانية فبإمكانه أن يبقى في الزمان الماضي، الزمان الذي لم يكن فيه هذا السجن ولا هؤلاء القضاة الذين يطاردونه. إن حاله هنا أشبه بمن دخل السينما ووجد الفيلم في نهايته، وبما أنه يرغب في مشاهدة الفيلم كاملاً، فإنه «يسافر» في الزمن، ويرجع القهقرى مع الشريط ويشاهده مقلوباً أول الأمر، لأنه سيتتبعه من نهايته حتى بدايته، ولكنه يستطيع أيضاً مشاهدته في وضعه «الطبيعي» فيسافر معه من بدايته إلى نهايته.

هكذا، إذن يدمج هذا الكائن الغريب الزمان في المكان. إنه «يسافر» في زمكان واحد: يغادر السجن إلى خارجه، أي يتحرك في المكان، ولكن حركته هذه تستلزم منه القيام بحركة في الزمان أيضاً، وفي نفس الوقت. فالحركتان بالنسبة إليه حركة واحدة يندمج فيها الزمان بالمكان اندماجاً لا انفصام له.

قد تقول كل هذه الشطحات الخيالية مجرد أوهام.. ولكن العالم الرياضي سيجيبك: إن ما تسميه وهماً وخيالاً لا يختلف في شيء عما تسميه حقيقة. فنفس العمليات الرياضية المطبقة هنا هي نفسها المطبقة هناك. وإذا كنت تتفق معي على أن الحقيقة تكون أقوى وأمتن عندما تعمّ أكثر ما يمكن من الحالات الخاصة، فإني أقول لك إن ما تسميه «حقيقة» هو فقط حالة خاصة. أما الحقيقة الأعم فهي ما تسميه «وهماً» وهاك البرهان.

عندما أقطع مسافة «م» على خط أحددها بعدد هو «س» بحيث يكون: $م^2 = س^2$. وعندما أتبع سيري بعد ذلك في اتجاه الشمال وأقطع مسافة «ص» فإن المسافة «م» تصبح كما يلي: $م^2 = س^2 + ص^2$. وعندما أواصل رحلتي بواسطة طائرة هيلوكوبتر تنقلني إلى أعلى،

وأقطع مسافة «ع» إلى أعلى، فإني أحسب المسافة «م» التي تفصلني عن نقطة انطلاقي الأولى، كما يلي: $م^2 = س^2 + ص^2 + ع^2$.

وما دمت قد انتقلت من البعد الواحد «س» إلى البعد الثاني «ص» ثم إلى البعد الثالث «ع» الذي يمنعني من الانتقال إلى البعد الرابع «ل» وأيضاً إلى البعدين الخامس والسادس، فإذا اكتفيت بالبعد الرابع فإن المسافة «م» التي تفصلني عن نقطة انطلاقي ستكون: $م^2 = س^2 + ص^2 + ع^2 + ل^2$.

قد تقول هذا غير ممكن... وسيجيبك العالم الرياضي: الممكن هنا وغير الممكن أمران نسبيان: تخيل أن الطائرة التي تقلني إلى أعلى (إلى البعد الثالث) توقفت في الفضاء عن الحركة، وأصبحت عاجزاً تماماً عن معرفة أي شيء عن الحركة في اتجاه البعد الثالث، وصرت كالكائنات التليفزيونية التي تحدثنا عنها قبل قليل. إنني في هذه الحالة سأحدد موقعي من نقطة انطلاقي بواسطة «س» و«ص» فقط، فأقول: $م^2 = س^2 + ص^2$. وإذن فما دام من الممكن الوقوف عند $س^2 + ص^2$ وما دام من الممكن أيضاً الانتقال منها إلى $س^2 + ص^2 + ع^2$ فلماذا لا أضيف حرفاً آخر (أي بعداً آخر واكتب: $م^2 = س^2 + ص^2 + ع^2 + ل^2$... ثم + ... + ...

وإذا أردت التدقيق أكثر، فلتعلم أن تصورنا للمكان الواقعي ذي الأبعاد الثلاثة يقوم في الفيزياء الكلاسيكية على مبدأ أساسي هو اعتبار الفاصل المكاني (د. ج) ـ أي المسافة بين نقطتين معلومتين ـ ثابتاً دوماً، وفي جميع المنظومات المرجعية. وقد أوضحت نظرية النسبية أن هذا المبدأ يفقد صحته في ميدان السرعات الكبيرة المقاربة لسرعة الضوء (مثال المسطرة). وقد برهن مينكوفسكي على أنه أضفنا إلى الأبعاد الثلاثة التي للمكان الواقعي والتي نرمز إليها بـ: س، ص، ع، بعداً رابعاً مقداره $\sqrt{-1}$ ن. ز (حيث نرمز «ن» لسرعة الضوء، و«ز» لسرعة المنظومة المرجعية، أي سرعة المتحرك) فإن الفاصل الزمكاني في العالم ذي الأبعاد الأربعة سيكون:

$د ك = \sqrt{د س^2 + د ص^2 + د ع^2 - ن^2 د ز^2}$ وهذا الفاصل ثابت دوماً في جميع المنظومات المرجعية مهما كانت السرعة. إن عالم مينكوفسكي هو مجموع كل القيم التي يمكن اعطاؤها لـ: س، ص، ع، ز. ومنظومة القيم المحددة لكل من: س، ص، ع، ز تمثل نقطة في هذا العالم ذي الأربعة أبعاد، ويسميها مينكوفسكي: «نقطة العالم».

وعندما يتحرك المتغير «ز» بين $-\infty$ و $+\infty$ فإن «نقاط العالم» ترسم خطاً في هذا المكان ذي أربعة أبعاد، يسميه مينكوفسكي «خط العالم». لقد تصور مينكوفسكي عالماً ذا أربعة أبعاد يشغل فيه الزمان (وبالضبط $\sqrt{-1}$ ن. ز) البعد الرابع، أي دور الاحداثي الرابع، تصوره رياضياً لا حسياً، مثله في ذلك، مثل لوباتشيفسكي وريمان وغيرهما من منشئي الهندسات اللاإقليدية[٤].

(٤) راجع في هذا الصدد نصاً في الجزء الأول من هذا الكتاب بعنوان: «رحلة في البعد الرابع».

٦ ـ المادة والمجال

كان اينشتين يطمح إلى تفسير الكون بأجمعه بمبدأ واحد هو المجال. وبمعنى آخر كان يحاول ارجاع قوانين الفيزياء كلها إلى قوانين المجال. ومعلوم أن الفيزياء الكلاسيكية تفسر الحوادث الطبيعية كلها بالمادة والحركة. وقد رأينا من خلال نظرية ماكسويل ونظرية النسبية المعممة كيف أصبحت الظواهر تفسر بالمجال، بمعنى أن مفهوم الحركة قد عوض بمفهوم أدق هو المجال. وهكذا أصبح الواقع الطبيعي، ما صغر من ظواهره وما كبر، يفسر بمبدأين اثنين: المادة والمجال.

أراد اينشتين: أن يخطو خطوة أبعد، فيفسر الحوادث كلها بالمجال وحده، وفيما يلي بعض الاعتبارات التي بنى عليها محاولته تلك.

يقول اينشتين: إننا، قبل اكتشاف نظرية النسبية، كنا نميز بين المادة والمجال، باعتبار أن المادة لها كتلة، وأن المجال لا كتلة له. وبعبارة أخرى: المادة تمثل كتلة، والمجال يمثل طاقة. ولكن هذا التصور قد تغيّر بفضل نظرية النسبية التي كشفت لنا عن الحقيقة التالية، وهي أن المادة عبارة عن خزان هائل من الطاقة، وأن الطاقة هي عبارة عن مادة. وبالتالي لم يعد في إمكاننا التمييز بين المادة والمجال من ناحية الكيف، لأن الاختلاف بينهما لم يعد كيفياً، بل هو اختلاف كمي فقط، نظراً لأن كلاً منهما عبارة عن طاقة. فما نسميه مادة هو عبارة عن طاقة هائلة مركزة ومكثفة في إحدى نقاط المجال. وهكذا يمكن القول: توجد المادة حيثما توجد الطاقة مركزة بشكل هائل، ويوجد المجال حيثما توجد المادة أقل تركيزاً. وبالتالي فإن الفرق بين المادة والمجال فرق كمي لا كيفي، وإذا صح هذا فسيكون العالم الذي نعيش فيه عبارة عن بحر ينساب فيه ماء رقراق، توجد فيه بعض التجاعيد، هنا وهناك. صفحة الماء هي المجال، والتجاعيد هي المادة.

وإذا قبلنا هذا التصور فإن الحجر الذي نلقيه في الهواء سيكون عبارة عن مجال يتغير، عبارة عن نقطة مركزة من المجال تنتقل في الفضاء بسرعة معينة، هي سرعة ذلك الحجر. وهكذا لن يعود هناك في هذا الكون أي مكان لحقيقة أخرى غير هذا المجال. لقد نجحنا في صياغة قوانين الكهرباء والمغناطيس والجاذبية على شكل قوانين بنيوية (معادلة ماكسويل) وتمكنا من إدراك التكافؤ بين الكتلة والطاقة. ولم يبق علينا ـ لتحقيق هذا المشروع ـ سوف تعديل قوانين المجال بالشكل الذي يجعلها تظل صالحة للاستعمال في المناطق التي تتركز فيها الطاقة بشكل هائل، تلك المناطق التي نسميها المادة. ونحن اليوم ـ يقول اينشتين ـ لم نتمكن من تحقيق هذا البرنامج بكيفية مرضية ومقنعة، وسيكشف المستقبل عما إذا كان من الممكن ـ أو من غير الممكن ـ تحقيقه. أما الآن فإنه لا بد لنا، عند بناء نظرياتنا العلمية، من افتراض وجود واقعين اثنين: المادة والمجال.

هذا ما قاله اينشتين في أواخر حياته. ولا زال مشروعه هذا مجرد فرضية. إذ لم يتوصل العلماء إلى ما يؤكدها أو يكذبها. . .

* * *

تلك كانت اطلالة سريعة على نظرية النسبية، ولا شك أن القارىء قد لاحظ مدى الضربات التي كالتها هذه النظرية للفيزياء الكلاسيكية، ومفاهيمها الأساسية. ومع ذلك فإن الفيزياء الكلاسيكية فيزياء صحيحة ومشروعة من وجهة نظر النسبية، ولكنها تعتبرها - لا كفيزياء وحيدة ممكنة - بل كحالة خاصة من حالة أعم. ولذلك بقي اينشتين متمسكاً بأهم مبدأ في الفيزياء الكلاسيكية وهو مبدأ الحتمية. وسيتعرض هذا المبدأ نفسه لهزة عنيفة جداً، ولكن لا من البحث في العالم الأكبر الذي اهتمت به نظرية النسبية، بل من البحث في العالم الأصغر، عالم الذرة والالكترونات... نقصد نظرية الكوانتا التي ستعرف عليها في الفصل التالي.

الفصل السابع

الثورة الكوانتية

أولاً : الاتصال والانفصال في ميدان الطاقة

أشرنا في الفصل الخامس من هذا الكتاب إلى نظرية الطاقة، ورأينا كيف أخذ العلماء في النصف الثاني من القرن الماضي ينظرون إلى الحركة والحرارة والضوء والكهرباء كأشكال من الطاقة: الطاقة الميكانيكية، والطاقة الحرارية، والطاقة الضوئية، والطاقة الكهربائية. فكيف كانوا يتصورون الطاقة على العموم: أمتصلة هي، أم منفصلة؟

لقد كان الرأي السائد إلى حدود نهاية القرن الماضي أن تجليات الطاقة في مختلف الميادين تتم بشكل متصل. فالطاقة الكهربائية تسري في الأسلاك بشكل متصل، مثلها مثل أنواع الطاقة الأخرى. وهذا يعني أنه من الممكن تخفيض شدة التيار الكهربائي إلى أقصى حد، دون أن يحدث فيه أي انقطاع، ومثل ذلك الطاقة الحرارية. فلقد كان الاعتقاد السائد أن درجة حرارة جسم ما يمكن رفعها أو خفضها بكيفية متصلة، أي بكميات يمكن الزيادة فيها أو النقصان منها، دون التقيّد بكمية محدّدة لا تقبل التجزئة. وكذلك الشأن في الطاقة الضوئية، إذ كان ينظر إلى الشعاع الضوئي على أنه مكوّن من موجات تحمل، عبر مسافات بعيدة، طاقة ضوئية بكميات غير محدودة الصغر، أي أنه يمكن تخفيض كمية الطاقة الضوئية بصورة متصلة لا نهاية لها.

ولكن هذا التصور تعرض لضربة قاضية مفاجئة عام ١٩٠٠ على يد العالم الالماني ماكس بلانك Max Planck (١٨٥٨ ـ ١٩٤٧) الذي نادى بأن الطاقة، مثلها مثل المادة والكهرباء، لا تظهر إلاّ بصورة منفصلة متقطعة، أي على شكل حبات أو وحدات محدّدة تسمى في الاصطلاح العلمي بـ «الكوانتوم Quantum (والجمع كوانتا Quanta)»[1] فالكوانتوم، إذن هو أصغر كمية من الطاقة يمكن اطلاقها أو امتصاصها.

---

(١) يترجم بعض المؤلفين العرب الكوانتوم بـ «الكم» وأحياناً بـ «الكميم»، ونحن نفضل الاحتفاظ بالاسم الأجنبي لأنه مصطلح عالمي، تجنباً لكل لبس.

فما هي أولى النتائج المترتبة عن هذا الكشف الجديد؟

لنتذكر أننا كنا قررنا ـ في الفصل الخامس من هذا الكتاب ـ مع علماء أواخر القرن الماضي، أن الضوء يسري على شكل موجات، لا على شكل حبات كما كان يعتقد من قبل. لقد انتصرت النظرية الموجية «نهائياً» عندما تقدم ماكسويل بمعادلته المشهورة التي أثبتت أن الضوء عبارة عن موجات كهرطيسية. والآن يفرض علينا اكتشاف بلانك للكائن العلمي الجديد «الكوانتوم» النظر إلى الشعاع الضوئي بوصفه حبات من الطاقة تنتقل بسرعة. فهل يعني هذا الرجوع مجدداً إلى النظرية الجسيمية؟ وكيف يمكن ذلك وهي وحدها لا تستطيع تفسير ظواهر أساسية في ميدان الضوء، ظواهر: التداخل، والانعراج، والاستقطاب؟

ذلك ما سيتبين لنا بعد الاطلاع على قصة هذا الكشف الجديد.

ثانياً: تجربة الجسم الأسود

إذا سلّطنا الضوء الأبيض على جسم ما، فإن هذا الجسم:

ـ إما أن يعكس مجموع ذلك الضوء، كما تفعل المرآة التي تعكس أشعة الشمس كما هي.

ـ واما أن يمتص ذلك الجسم بعض أشعة ذلك الضوء، ويعكس الباقي (ونحن نعرف أن الضوء الأبيض مركب من ألوان الطيف السبعة). هناك أجسام تمتص الألوان الستة من الطيف ولا تعكس إلاّ لوناً واحداً، فإذا عكست اللون الأحمر سميناها أجساماً حمراء، وإذا عكست اللون الأصفر سميناها صفراء، وهكذا...

ـ وإما أن يمتص الجسم اللون الأبيض بأكمله (أي جميع ألوان الطيف)، وبالتالي لا يعكس أيّاً منها، وفي هذه الحالة يبدو مظلماً فنسميه جسماً أسود. فالورقة المصبوغة بأسود الدخان مثلاً تمتص جميع ألوان الطيف التي يتألف منها اللون الأبيض، ولذلك تبدو سوداء.

وقياساً على هذه الحالة الأخيرة اصطلح العلماء على تسمية الجسم الذي يمتص، بالكامل، الطاقة الضوئية المسلطة عليه بـ «الجسم الأسود». وكما أن هناك أجساماً تمتص الطاقة الضوئية، هناك بطبيعة الحال أجسام تصدرها (تعطيها) كالشمس أو المصباح. وقياساً على ما قلناه قبل، يمكن أن نتصور جسماً أسود يمتص بالكامل الطاقة الضوئية التي يصدرها هو نفسه.

لنتخيل فرناً اصطناعياً أُحكم إغلاقه، بحيث لا يمكن أن يتبادل الطاقة مع الخارج (لا شيء من الطاقة ينفذ إليه أو يخرج منه)، وأن في هذا الفرن مواد مشعة (جمر ملتهب مثلاً). إن إشعاع هذه المواد لا يمكن أن يتسرب إلى خارج الفرن لأن هذا الأخير مغلق بإحكام. ولكن لا شيء يمنع أشعة تلك المواد المشعة الموضوعة داخل الفرن من الانعكاس على جدران

الفرن الداخلية، لتعود إلى مصدرها، وتمتصها المواد المشعة المذكورة. وبعبارة أخرى إن هذه المواد المشعة تمتص هي نفسها الأشعة التي تصدرها.

تلك صورة تبسيطية عن «الجسم الأسود». وواضح أن هذا النعت (= الأسود) هو نتيجة مواضعة واتفاق. لقد اصطلح العلماء على تسمية تلك المواد المشعة الموضوعة في الفرن بالجسم الأسود على الرغم من أن داخل الفرن يكون في الغالب ملوناً (أحمر ناصعاً، أو أحمر قانياً أو ذا لهب أبيض أو أزرق) حسب درجة حرارة الفرن. فعندما تكون درجة حرارة الفرن منخفضة يكون داخل الفرن أسود، وعندما ترتفع قليلاً يصير أحمر قانياً، وعندما تشتد يصير أحمر ناصعاً، ثم أبيض. . إن ذلك يعني أن هذا «الأسود» يتوقف على درجة حرارة الفرن.

وليس من الصعب التأكد من ذلك تجريبياً. إذ من الممكن أن ندبر الأمور بشكل يسمح لنا بالإطلال على الفرن كله من ثقب صغير مثلاً. وإذا فعلنا ذلك شاهدنا في بعض الحالات توهج الفرن بضوء مائل إلى الحمرة، ضوء منسجم تماماً (أي كله أحمر ولا لون غيره) إلى درجة يصبح معها متعذراً علينا تمييز أي شيء داخله. فالفرن في هذه الحالة يبدو كله قطعة من اللهب الأحمر متوهجة. إن هذا يعني أن جميع نقاط الفرن (أرضه، جوانبه، سقفه) ترسل، عندما يكون في درجة حرارة معينة وثابتة نفس النوع من الضوء، أي أشعة منسجمة (= غير مركبة). وبإمكاننا تنويع التجربة بإقامة أفران تختلف حجماً وشكلاً ومواد مشعة، وفي جميع الحالات سنلاحظ أن الضوء الذي يغمر الفرن يتوقف لونه على درجة حرارة الفرن فقط. وبعبارة أخرى، إن نوع الأشعة (حمراء، أو صفراء، أو بنفسجية. . .) التي يرسلها الجسم الأسود المعزول بهذا الشكل يتوقف فقط على درجة الحرارة، لا على الظروف والملابسات الأخرى.

لقد استلفتت هذه الظاهرة ـ ارتباط نوعية الضوء في الجسم الأسود بدرجة الحرارة ـ انتباه العلماء فانكبوا على دراستها. ومن جملة المسائل التي اهتموا بها المسألة التالية: بما أن الأشعة قسمان: مرئية وغير مرئية، فما هي نسبة هذه، وما هي نسبة تلك في الجسم الأسود (الفرن)؟ كم فيه مثلاً من الأشعة الحمراء (عندما يكون أحمر) ومن الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية؟ (وهذان النوعان غير مرئيين). وبما أننا نعرف أن الأشعة، المرئية، وغير المرئية، تختلف باختلاف أطوال موجاتها (أو باختلاف تواتر الموجات: كلما قصرت الموجة كان التواتر أشد وأكبر)، فإن السؤال السابق يعني، من الناحية العلمية، البحث عن المعادلة الرياضية التي تعطينا نسب أنواع الموجات الضوئية التي تغمر الفرن في درجة حرارة معينة، وبعبارة أخرى كمية الأشعة الفلانية (الحمراء، مثلاً) والأشعة الفلانية (تحت الحمراء. . . فوق البنفسجية. . . أشعة س).

توصل العالم الانكليزي رايليغ Rayleigh (١٨٤٢ ـ ١٩١٩) ـ ضمن محاولات أخرى ـ إلى صياغة معادلة رياضية تفيد أن شدة الموجات الضوئية التي يطلقها الجسم الأسود تزداد بتواتر الإشعاع. وهذا يعني أن كمية الأشعة في الجسم الأسود تتوقف على تواتر موجاتها. فالضوء المرئي، مثلاً، ذو موجات أكبر تواتراً من الأشعة تحت الحمراء، ولذلك كانت كميته

في الجسم الأسود أكبر من كمية هذه. والأشعة فوق البنفسجية ذات موجات أكبر تردداً من موجات الضوء المرئي، ولذلك كانت كميتها في الجسم الأسود أكبر من كمية الأشعة المرئية وهكذا.

تلك نتيجة استدلالية تعطيها معادلة رايليغ. ولكن فحص أشعة الجسم الأسود فحصاً تجريبياً يعطينا نتائج مخالفة. لقد تبين بالقياس التجريبي أن هناك، في درجة حرارة معينة، تواتراً معيناً (أي نوعاً معيناً من الأشعة) يكثر اصداره من طرف الجسم الأسود دون غيره. وأن شدة الضوء (= قوته، نصاعته، كثرة موجاته) تأخذ في النقصان عندما نبتعد عن هذا التواتر المعين، نزولاً أو صعوداً. وبعبارة أخرى كشفت التجربة أن هناك عتبة خاصة بالجسم الأسود، بحيث تزداد نسبة الأشعة التي يصدرها بازدياد تواترها، ولكن فقط إلى حد معين، ثم بعد ذلك تأخذ نسبة الأشعة المصدرة في النقصان إذا تجاوز تواترها هذا الحد المعين.

وزيادة في الايضاح نشير إلى أن الرسم البياني الذي تعطيه لنا معادلة رايليغ هو عبارة عن خط صاعد (كلما ازداد التواتر ازدادت كمية الضوء) في حين تعطينا التجربة رسماً بيانياً على شكل جرس (تزداد كمية الضوء بازدياد التواتر إلى حد معين، ثم تأخذ في النقصان بازدياد التواتر بعد هذا الحد).

نحن هنا إذن، أمام مشكلة خطيرة، مشكلة تناقض النظرية مع التجربة! فما العمل؟ في مثل هذه الأحوال يجب أن يراجع الباحث نفسه، فيعيد النظر في استدلالاته علّه يكتشف فيها خطأ أو ثغرة، فإن تأكد من صحة استدلالاته أصبح من الواجب عليه مراجعة الأسس التي بنى عليها هذا الاستدلال.. راجع رايليغ معادلته هو وكثير من العلماء فلم يجدوا فيها أية ثغرة، وإذن، فلم يبق إلا مراجعة الأسس!

ولكن كيف؟

إن معادلة رايليغ مبنية ضمنياً على الفكرة السائدة التي تعتبر الطاقة متصلة يمكن تخفيضها إلى أقصى حد. ولذلك تأدى إلى نظريته القائلة إن شدة الضوء الذي يطلقه الجسم الأسود متناسبة مع التواتر. ولكن بما أن التجربة تكذب هذه النظرية كما شرحنا، فلا بد من مراجعة هذا الأساس، وبما أن الطاقة إما أن تكون متصلة وإما أن تكون منفصلة، وليس هناك من احتمال آخر، فلماذا لا نفترض عكس ما افترضه رايليغ، على الرغم من تسليم الناس به.. لماذا لا ننطلق من كون الطاقة تسري على شكل حبات، أو وحدات لا يمكن تجزئتها؟

ثالثاً: بلانك وفكرة الكوانتا

انطلق بلانك من فكرة الانفصال، انفصال الطاقة، واعتبر الضوء عبارة عن طاقة تسري على شكل كوانتوم، أو كميات (تصغير كم) أي وحدات لا تقبل التجزئة. وأخذ يبحث عن الكيفية التي تتوزع بها الطاقة الضوئية في الجسم الأسود، رابطاً هذا التوزع بتواتر

أشعة ذلك الضوء ودرجة حرارة ذلك الجسم، فتوصل إلى نتيجة تتوافق تماماً مع معطيات التجربة. لقد لاحظ أن معادلة رايليغ تنسجم فعلاً مع معطيات التجربة، ولكن فقط عندما يتعلق الأمر بالتواتر المنخفض. الشيء الذي يدل على أن الحبات الضوئية (أي كوانتوم الطاقة) صغيرة جداً لا يظهر أثرها في الموجات الطويلة. ولكن التجربة تكذب معادلة رايليغ عندما يتعلق الأمر بالأشعة ذات التواتر الشديد، فهنا يلعب كوانتوم الطاقة دوره، بمعنى أن قيمته تزداد بازدياد تواتر الاشعاع. إن قيمة الطاقة التي تطلقها الأشعة فوق البنفسجية مثلاً أكبر من قيمة الطاقة التي تطلقها أشعة الضوء المرئي، وهذه أكبر من قيمة الطاقة التي تصدرها الأشعة تحت الحمراء. وهكذا، وبعبارة أخرى: **قيمة الكوانتوم تتناسب مع التواتر**:

$$Q = hf \quad \text{أو} \quad ك = هـ \times ت$$

(ك = قيمة الكوانتوم. هـ (أو h) عدد ثابت مقداره $6,62 \times 10^{-27}$ ويعرف بـ «ثابت بلانك» أما الحرف: ت (f) فيرمز للتواتر).

وانطلاقاً من هذه المعادلة عالج بلانك الجسم الأسود، فتوصل إلى نتائج تطابق تمام المطابقة معطيات التجربة، نتائج تعطي منحنياً على شكل جرس.

قد يبدو أن المسألة بسيطة لا تستوجب اندهاشاً ولا ترقّداً. ولكن العكس هو الذي حصل. لقد ارتبك العلماء ـ وفي مقدمتهم بلانك نفسه ـ ارتباكاً شديداً. بعضهم أوقف أبحاثه وبقي مدهوشاً لا يدري ما يفعل. وبعضهم الآخر رفض فكرة بلانك واعتبرها سخيفة. والذين أخذوا منهم المسألة مأخذ الجد شعروا بصرح الفيزياء الذي شيّده العلماء منذ غاليليو بصبر وأناة، قد أخذ يتهاوى، وأن مصيره الانهيار التام، خصوصاً والقضية هنا تمس أصلب وأرقى القوانين الفيزيائية، قوانين الكهرطيسية التي حققت الوحدة والانسجام بين فروع الفيزياء وأعطت للظواهر الكهربائية والمغناطيسية والضوئية تفسيراً معقولاً ومقبولاً تعززه قوة البرهان الرياضي في معادلة ماكسويل.

انقلاب خطير، هذا الذي أدّت إليه معادلة بلانك، لقد أصبح لزاماً على العلماء أن يتخلّوا عن كثير من المفاهيم والمنطلقات و«المبادىء» التي يعتبرونها صحيحة، والتي شيّدوا عليها، بالتالي، العلم الفيزيائي طوال قرون خلت. لقد أصبح لزاماً عليهم أن يطرحوا جانباً النظرية الموجية ويعودوا إلى نظرية الاصدار، النظرية التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات وجسيمات تنتقل عبر الفراغ بسرعة كبيرة. ولكن كيف يمكن القول بهذا؟ كيف يمكن تفسير الظواهر الذي أثبتت الطبيعة الموجية للضوء بشكل لا يقبل الشك، وعلى رأسها ظاهرة التداخل، وظاهرة الانعراج؟

وكما يحدث دائماً، فإن انقلاباً في مثل هذه الخطوة لا يمكن أن يتم من دون معارضة... فللقديم سلطته على العقول، وقد يشك الانسان في حواسه ولا يشك فيما ألفه واعتاده وأصبح جزءاً لا يتجزأ من المفاهيم العقلية التي بها يفكر، وبها يشيد. كان لا بد إذن

من اكتشاف ظواهر أخرى جديدة لا تقبل التفسير إلا بالعودة إلى فكرة الانفصال، حتى يضطر المعارضون إلى التسليم بصواب النظرية الجديدة ـ القديمة، نظرية الاصدار.

رابعاً: الظاهرة الضوئية الكهربائية

في الوقت الذي كان فيه بعض العلماء منشغلين بالجسم الأسود وتوزع الطيف فيه، كان علماء آخرون يدرسون ظاهرة أخرى من الظواهر الضوئية تعرف بـ **الظاهرة الضوئية الكهربائية** Effet Photoélectrique فما هي هذه الظاهرة الجديدة التي ستعزز بقوة جانب فكرة بلانك وتبرز بوضوح الطبيعة الحبيبية للضوء؟

لنتأمل التجربة التالية: صفيحتان من المعدن متقابلتان، لا يمر بينهما أي تيار كهربائي. لنسلّط حزمة من الضوء قوية على إحدى الصفيحتين. إننا سنلاحظ على التو أن تياراً كهربائياً ضعيفاً قد أخذ ينتقل من هذه الصفيحة إلى الأخرى. ومعنى ذلك أن هناك قافلة من الالكترونات أخذت تغادر الصفيحة التي سلّطنا عليها الضوء إلى الصفيحة الأخرى. فمن أين جاءت هذه الالكترونات؟ إن التفسير الوحيد الذي يمكن القول به هو إن الضوء المسلّط على الصفيحة الأولى قد انتزع من ذراتها مجموعة من الالكترونات. يتأكد ذلك إذا أوقفنا الضوء المسلط على الصفيحة، ففي هذه الحالة يتوقف التيار الكهربائي، أي تكف الالكترونات عن الانتقال من الصفيحة الأولى إلى الصفيحة الثانية.

هذه بالإجمال هي الظاهرة الضوئية الكهربائية (الضوء يعطي كهرباء)، كما بسطها اينشتين. أما قوانينها فهي كما يلي:

ـ إذا سلّطنا على الصفيحة المعدنية ضوءاً أقوى مرتين، مثلاً، نحصل على عدد من الالكترونات، أكبر مرتين... وهكذا.. وهذا شيء منطقي لا غرابة فيه.

ولكن إذا غيّرنا طول موجة الضوء المسلّط على الصفيحة، بحيث استعملنا على التتابع أشعة «س» ثم الأشعة فوق البنفسجية، ثم الأشعة المرئية (ألوان طيف الشمس)، وبعبارة أخرى إذا زدنا في طول الموجة، وبالتالي في قوة الضوء، فإننا سنلاحظ أنه كلما زاد طول الموجة قلّ عدد الالكترونات المنتزعة من الصفيحة. وبما أن ازدياد طول الموجة يعني انخفاض التواتر، فإن ذلك يعني أنه: كلما انخفض التواتر انخفض عدد الالكترونات، وكلما زاد، زادت. وهكذا فإذا استعملنا أشعة «س»، وهي ذات موجات صغيرة جداً، وتواتر كبير، اندفعت الالكترونات بكثرة وسرعة. أما إذا استعملنا الأشعة فوق البنفسجية (وموجاتها أطول من موجات أشعة «س» وبالتالي فهي أضعف تواتراً) فإن عدد الالكترونات، التي ستنتزع من الصفيحة سيقل. وهذا شيء غريب حقاً.

وواضح أن وجه الغرابة هنا، هو أن الشعاع الضعيف مثل أشعة «س» أو الأشعة فوق البنفسجية (ضعيف بمعنى أن موجته صغيرة جداً إلى درجة أنه لا يرى بالعين) ينتزع من

الصفيحة المعدنية عدداً من الالكترونات، في حين أن الشعاع القوي، مثل الضوء الأحمر والأشعة تحت الحمراء (موجاتها أطول)، لا ينتزع من الصفيحة أية الكترونات.

- أما القانون الثالث للظاهرة الضوئية الكهربائية فهو كما يلي: إن عتبة التواتر التي لا ينتزع بأقل منها أي الكترون، متعلقة بطبيعة المعدن، وفي الغالب تقف هذه العتبة عند الضوء البنفسجي.

كيف نفسّر هذه الظاهرة؟

لقد بقي العلماء مشدوهين أمامها فترة طويلة، ذلك لأن أول اكتشاف لها كان على يد هيرتز عام ١٨٧٧. ولم تجد التفسير المقبول إلاّ عندما تصدّى لها اينشتين سنة ١٩٠٥، فجاء تفسيره معزّزاً لنظرية الكوانتا التي قال بها بلانك، وكان قد مرّ عليها خمس سنين.

إن النظرية الكوانتية، التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات من الطاقة، تقدم حلاً كمياً وكيفياً مقبولاً وصحيحاً لهذه الظاهرة: ذلك لأنه بنزع الكترون واحد، مثلاً، من الصفيحة المعدنية في التجربة السابقة، لا بد من طاقة، لا بد من مجهود يصرف في عملية الانتزاع هذه. وهذا المجهود أو الطاقة المطلوبة، هو الحبة الضوئية التي أطلق عليها اينشتين منذ ذلك الوقت اسم: الفوتون Photon (بعضهم يقترح تسميتها باسم: السنية الضوئية). وهكذا، فعندما يصل الفوتون، أي الحبة الضوئية، إلى الصفيحة المعدنية يصطدم مع الكترون حر (يتحرك بحرية)، فيدفعه بقوة الاصطدام إلى الصفيحة الثانية، تماماً مثلما يحصل عندما تصطدم كرة البليار مع كرة أخرى، وبتعبير آخر: إن الالكترون يستولي على كوانتوم الطاقة الذي يلتقي معه، فيضيف إلى قوته الذاتية قوة جديدة اضافية، فيصبح متوفراً على قدر من الطاقة أكبر، ويستطيع بالتالي الانفلات من الصفيحة المعدنية بسرعة معينة.

ذلك هو تفسير ظاهرة الانتزاع. أما عتبة التواتر، فتفسيرها كما يلي: لكي يتم انتزاع الكترون واحد لا بد من طاقة كما قلنا. والفوتون المنبعث من الأشعة تحت الحمراء - مثلاً - قليل الطاقة لأنه ضعيف التواتر، وقد مرّ معنا منذ قليل أن قانون بلانك ينص على انه كلما زاد التواتر زادت الطاقة، وكلما انخفض التواتر انخفضت الطاقة. وهكذا يتبين أن الأشعة تحت الحمراء، لا تقوى على انتزاع الالكترونات من الصفيحة المعدنية لأنها ذات تواتر ضعيف، وبالتالي ذات طاقة ضعيفة. وأما الفوتون المنبعث من الأشعة فوق البنفسجية فهو ذو طاقة أكبر لأنه شديد التواتر. ومثل ذلك أشعة س، التي يفوق تواترها، وبالتالي طاقتها، تواتر الأشعة فوق البنفسجية وطاقتها. ولذلك كانت قادرة على انتزاع الكترونات وتمكينها من طاقة عظيمة تجعلها تسير بسرعة أكبر.

وكما هو واضح، فإن هذه الظاهرة لا تفسرها إلاّ النظرية الكواتية القائلة بأن الضوء هو عبارة عن حبات من الطاقة. أما النظرية الموجية، فهي غير صالحة هنا تماماً. ذلك لأنه لو كان الضوء أمواجاً، لكان من المتوقع أن يزداد عدد الالكترونات المنتزعة وتزداد سرعتها، بازدياد قوة الضوء، أي بالزيادة في عدد الأشعة، كأن تستعمل حزمة قوية بدل حزمة ضعيفة

(مع الاحتفاظ طبعاً بنفس النوع من الأشعة)، فالضوء الأحمر مثلاً لا ينتزع أي الكترون سواء كان قوياً وهّاجاً، أو كان ضعيفاً خافتاً. فالمسألة إذن تتوقف على **تواتر الاشعاع**، أي على **طاقة الفوتونات**، لا على قوة الضوء أو ضعفه. وأكثر من ذلك تبقى سرعة الالكترونات المنتزعة بالأشعة فوق البنفسجية مثلاً، هي هي، مهما زدنا في عدد هذه الأشعة، ولكن إذا استعملنا أشعة س، وهي أكثر تواتراً، وبالتالي أكبر طاقة، فإن سرعة الالكترونات تزداد بشكل ملحوظ. ويمكننا تقريب هذه الظاهرة إلى الأذهان، بالقول ـ مع اينشتين ـ إن أمواج البحر لا تنتزع من الجدار المصنوع من الاسمنت والذي تتلاطم عليه في الشاطىء، أية حجارة، مهما كثرت هذه الأمواج... أما إذا تعرّض الجدار المذكور لوابل من الرصاص، فإنه لا بد أن تحدث فيه ثقوب، أي لا بد أن تنتزع منه أجزاء معينة وستكثر هذه الأجزاء، وتزداد سرعة انطلاقها من الجدار إذا استعملنا أسلحة أقوى: رشاشات بدل مسدسات أو مدافع بدل الرشاشات.

يؤدي بنا هذا التسليم بالحقيقة التالية، وهي أن **الضوء عبارة عن «وابل» من الفوتونات، وأن الفوتون هو كوانتوم الوحدة للطاقة الضوئية**. وهكذا، فعوضاً عن استعمال الاصطلاح الشائع: «طول الموجة» المرتبط بالنظرية الموجية، يصبح التعبير الملائم هو: **«طاقة الكوانتا الضوئية»**.

وكما تعززت فكرة الكوانتا بالظاهرة الضوئية الكهربائية، تأكدت أيضاً باكتشاف ظواهر جديدة لا تقبل التفسير إلّا بالنظرية الجسيمية. من هذه الظواهر: مفعول كامتون ومفعول رامان.

خامساً: مفعول كامتون ومفعول رامان

حدث سنة ١٩٢٣ أن لاحظ العالم الأمريكي كامتون Compton (١٨٩٢ ـ ١٩٦٢) أن أشعة «س» المسلطة على مجموعة من الالكترونات لا تنتشر عليها على شكل أمواج، بل بشكل يشبه انتشار الكرات الصغيرة عندما تسلط على كرات مماثلة. فالمسألة إذن ليست انتشار أمواج، بل اصطدام حبات بحبات، أي فوتونات بالكترونات.

وعندما يصطدم فوتون ما (وهو طاقة) بإحدى الالكترونات في ذرة من الذرات، فإما أن يرتد ذلك الفوتون، كما يحدث عندما تصطدم كرة بليار مع كرة أخرى من نفس النوع، وفي هذه الحالة يتخذ لنفسه وجهة أخرى غير وجهته الأصلية، فينعكس وينتشر دون أن يتغير فيه شيء كما يحدث للشعاع عندما ينعكس على المرآة، وإما أن «يتنازل» الفوتون عن جزء من طاقته نتيجة الاصطدام، فيأخذها منه الالكترون الذي اصطدم به، فإن الفوتون الذي فقد جزءاً من طاقته يضعف تواتره، وتنخفض سرعته، فيتغير اتجاهه. أما الالكترون الذي أضاف إلى طاقته الأصلية طاقة جديدة فإنه يزداد سرعة.

ذلك هو مفعول كامتون Effet Compton الذي له دور كبير في إثبات الطبيعة الجسيمية للضوء. وبعد سنوات قليلة، أي في عام ١٩٢٨ اكتشف العالم الهندي رامان Raman ظاهرة مماثلة عرفت باسمه (مفعول رامان Effet Raman). وملخص هذه الظاهرة، كما يلي:

لنفرض أن فوتوناً صادف في طريقه جزيئاً من المادة Molécule مؤلفاً من عدد من الذرات. هنا يمكن أن يفقد الفوتون قسماً من طاقته، فيأخذه منه الجزيئي ويضيفه إلى طاقته هو، فيصبح ذا طاقة أقوى، ويتحول من وضعية «أ» إلى وضعية «ب»، وفي هذه الحالة يعود ذلك الفوتون الذي فقد جزءاً من طاقته بتواتر أقل من تواتره الأصلي. ويمكن أن يحدث العكس، وهو أن الجزيئي الذي استولى على جزء من طاقة الفوتون السابق، يصطدم مع فوتون آخر، وتكون النتيجة فقدان ذلك الجزيئي لتلك الطاقة الاضافية التي حصل عليها من الفوتون الأول، فيعود من وضعية «ب» إلى وضعية «أ». أما الفوتون الثاني الذي تسلم تلك الطاقة الاضافية فتزداد طاقته ويرتفع تواتره ويشع بأقوى مما كان في السابق.

ومن الممكن، عندما تتعدد الجزيئات والفوتونات، حدوث الظاهرتين معاً في وقت واحد، بعض الفوتونات تفقد جزءاً من طاقتها لصالح بعض الجزيئات، وبعض الجزيئات تفقد جزءاً من طاقتها لفائدة بعض الفوتونات... **إن تبادل الطاقة بهذا الشكل بين المادة والإشعاع**، بين الجزيئات والفوتونات لا يمكن تفسيره بالنظرية الموجية، وإنما بالنظرية الكوانتية كما رأينا. وفي ذلك تأكيد آخر للطبيعة الجسيمية للضوء.

هكذا أخذت النظرية الكوانتية تفرض نفسها، لأنها هي وحدها القادرة على تفسير الظواهر الجديدة المكتشفة على المستوى الذري كالظاهرة الضوئية الكهربائية ومفعول كامتون ومفعول رامان، بالإضافة إلى ظاهرة «الجسم الأسود» التي كانت منطلقاً للنظرية الجديدة.

فهل يعني هذا ضرورة الأخذ من جديد بالنظرية الجسيمية والرمي بالنظرية الموجية في سلة المهملات؟

الواقع أنه من غير الممكن ذلك. فالظواهر الضوئية الأساسية، ويقصد بذلك التداخل والانعراج والاستقطاب، تؤكد بشكل لا يقبل الجدل الطبيعة الموجية للضوء. فما دام الضوء يتداخل، وتلك إحدى خواصه الأساسية، فإنه لا بد أن يكون موجة أو شيئاً شبيهاً بالموجة. أضف إلى ذلك أن القائلين بالنظرية الكوانتية يستعملون كلمة «تواتر»: فقانون بلانك ينص، كما رأينا، أن كوانتوم الطاقة متناسب مع **تواتر الاشعاع**. **والتواتر معناه التموج**، وإذن فما الذي يتموج؟ أليس الضوء ذاته؟

ها هنا، إذن، مأزق جديد. إن الطبيعة تفرض على العقل قبول نقيضين، أي صفتين متناقضتين في شيء واحد، وفي آن واحد، هما الاتصال والانفصال.

فكيف يمكن أن يكون الشعاع الضوئي متصلاً يقبل القسمة إلا ما لا نهاية له، في نفس الوقت الذي يكون فيه منفصلاً لا يقبل التجزئة إلا إلى حد معلوم؟

سادساً: دوبروي والميكانيكا الموجية

يرى لوي دوبروي Louis de Broglie (مولود عام ١٨٩٢) وهو عالم فرنسي لامع، أن الظواهر الضوئية، تتطلب، من أجل تفسيرها كلها، القول بالنظرية الموجية تارة، والنظرية الجسيمية تارة أخرى. فالنظريتان، كلتاهما، تفسران، كلاً على حدة، جملة من الظواهر معينة. وهذا معناه أن التجربة تؤيدهما معاً، ومن ثمة فلا مناص من الأخذ بها واعتبار الضوء في آن واحد، مؤلفاً من أمواج وحبيبات. ولكن كيف يمكن ذلك؟

يقول دوبروي إن الشعاع الضوئي يتألف من حبات، تماماً كما تقول النظرية الكوانتية، ولكن لكل حبة ضوئية (أي فوتون) موجة خاصة تصحبه باستمرار، وتواتر هذه الموجة يتناسب مع طاقة الفوتون حسب قانون بلانك. وهكذا فعندما ينتشر الفوتون، ويسير عبر الفضاء، يكون مصحوباً دوماً بموجة من عنده تغمره وتجعله يشغل حيّزاً لا يمكن ضبطه بدقة. ومن ثمة يصبح من الصعب أن ننسب إليه موقعاً معيناً مضبوطاً. هناك في هذه الحالة حضور منتظم للفوتون في جميع نقاط الحيز المكاني الذي تشغله موجته. ولكن عندما يرتسم الفوتون على الشاشة مثلاً يكشف لنا عن موقعه بالضبط (إنه كالسحابة تنتشر في السماء كموجة ولكنها تنقلب إلى حبة ماء في حالة معينة). وعندما تحدث هذه الظاهرة، أي عندما يكشف الفوتون عن موقعه بالطريقة تلك، يتلاشى حضوره المنتظم في الموجة ويصبح من الممكن ضبط موقعه باحتمال يتناسب مع شدة الموجة في النقطة التي كشف فيها عن نفسه، وبذلك يمكن القول: **عندما يكشف الفوتون عن مظهره الجسيمي، بتموضعه في موقع معين، يختفي مظهره الموجي، وعندما يتأكد مظهره الموجي، أي عندما ينتشر كالسحابة يصبح من المستحيل الحصول منه على طبيعته الجسيمية.**

فكرة جريئة وخيال خصب مبدع. ولكن لماذا يكون الضوء وحده متصفاً بهذه الخاصية المزدوجة. إن الالكترون (الكهرباء) لا يختلف عن الفوتون (الضوء) اختلافاً كبيراً، فكلاهما حبة من الطاقة، وقد ثبت من قبل، مع ماكسويل أن هناك علاقة حميمة بين الضوء والكهرباء، أوليست الأشعة الضوئية عبارة عن أمواج كهرطيسية؟ فلماذا، إذن، لا نعمم هذه الخاصية المزدوجة على الالكترونات ونقول إنها أيضاً حبات كهربائية مصحوبة بموجات خاصة؟

اندفع دوبروي في تعميم فرضيته على جميع الميادين الذرية التي تطرح فيها مسألة الطاقة: الالكترون يجب أن يكون حبة كهربائية مصحوبة بموجة ترتبط بها دوماً. وبكيفية عامة: إن الجسيم، من أي نوع كان، يجب أن يكون مصحوباً بموجة.

تلك هي الفكرة الأساسية في الميكانيكا الموجية La mecanique ondulaire أي العلم الذري الذي يدرس حركة الجسيمات الذرية بوصفها جسيمات مصحوبة بأمواج، والذي أسسه دوبروي عام ١٩٢٩. لقد كانت هذه الفكرة، أول الأمر مجرد فرضية لا تخلو من المجازفة، ولكن كان هناك ما يبررها: فالمادة تتألف من جزيئات، والجزيئات مجمعات من

الذرات. والذرات الكترونات تدور حول نواة تتألف من بروتونات ونوترونات. ولقد حاول العلماء، قبل، ضبط حركة الالكترونات حول النواة بواسطة قوانين الميكانيكا الكلاسيكية فلم يستطيعوا، لأن الجسيمات في العالم المتناهي في الصغر، تسلك سلوكاً يختلف عن سلوك الأجسام في العالم الماكروسكوبي، عالم الفيزياء الكلاسيكية. فلا بد، إذن، أن يكون هناك نوع من الخصوصية في حركة هذه الجسيمات. وذلك ما سنراه بعد.

لقد أحدثت فكرة دوبروي هزة قوية في أوساط العلماء فتصدوا لدراستها وتمحيصها. وقد تمكن العالم النمساوي شرودنغر Schrodinger (١٨٨٧ - ١٩٦١) من ايجاد المعادلة الرياضية التي تحدد تموج الموجة المرتبطة بالفوتون أو بغيره من الجسيمات الأولية الدقيقة التي تدخل في تركيب المادة. فكان ذلك تأكيداً لنظرية دوبروي.

ومع ذلك بقي الشك في النظرية قائماً. لقد كان لا بد من اكتشاف جديد يثبت قطيعة تموج الالكترونات. والخاصية الأساسية للتموج هي التداخل. فما دام العلماء لم يكتشفوا هذه الخاصة في الالكترونات فإن القول بوجود موجات تصحبها ضرورة، سيبقى مجالاً للشك والاعتراض.

وفعلاً توصل عالمان أمريكيان عام ١٩٢٧ هما دافيسون Davisson وجرمير Germer إلى اكتشاف ظاهرتي التداخل والانعراج في الالكترونات. لقد سلطا «وابلاً» من الالكترونات على قطعة من معدن النيكل، فلاحظا حدوث ظاهرة الانعراج في هذه الالكترونات شبيهة بتلك التي تحدث عند استعمال أشعة «س». ثم قام علماء آخرون وطبقوا نفس الفكرة على البروتونات، فتوصلوا إلى نفس النتيجة، وهكذا تأكد بالتجربة أن المادة بمختلف تجلياتها الذرية هي عبارة عن جسيمات دقيقة ذات طبيعة مزدوجة: جسيمية وموجية معاً.

سابعاً: هايزنبرغ والميكانيكا الكوانتية (علاقات الارتياب)

إن هذه النتيجة التي انتهى إليها دوبروي من خلال أبحاثه في ميدان الضوء هي نفس النتيجة التي توصل إليها عالم الماني شاب، هو الفيزيائي اللامع هايزنبرغ Heisenberg، ولكن بسلوك طريق آخر، واستعمال لغة أخرى، مما أدى إلى إنشاء الميكانيكا الكوانتية، الذرية، الماتريسية (هي ميكانيكا لأنها تدرس حركة الجسيمات، وهي كوانتية (أو كمية) لأنها تنطلق من فكرة كوانتوم الطاقة وثابت بلانك، وهي ذرية لأن المشاكل التي أدّت إلى قيامها هي مشاكل تتعلق ببنية الذرة، أخيراً هي ماتريسية Matriciele، لأنها اعتمدت نوعاً خاصاً من الحساب هو الحساب الماتريسي، أو «حساب المصفوفات»).

فما هي قصة هذه الميكانيكا الجديدة، وما علاقتها بالميكانيكا الموجية التي أنشأها دوبروي، وما هي نتائجها الايبستيمولوجية؟

للجواب عن هذه الأسئلة لا بد من الرجوع إلى عالم الذرة.

١ ـ لماذا لا يسقط الالكترون؟

تتبعنا في فصل سابق تطور البحث في الذرة، فرأينا من جهة كيف أثبت العلم وجودها انطلاقاً من النظرية الحركية للغازات، وكيف أدت تجارب التحليل الكهربائي إلى اكتشاف الالكترون بوصفه شحنة كهربائية سالبة، ثم كيف تبين للعلماء أن الالكترون هذا مكوّن أساسي للمادة، وعنصر من عناصر بنية الذرة، الشيء الذي أدى إلى افتراض وجود نواة داخل الذرة ذات شحنة كهربائية موجبة تبطل مفعول الشحنة السالبة التي يحملها الالكترون ويضمن للذرة الاستقرار والتوازن، ورأينا من جهة أخرى كيف أدّى كل ذلك إلى تدشين البحث في بنية الذرة، وكيف استطاع روترفورد أن يبرهن على أن الذرة تشبه فعلاً المجموعة الشمسية، حيث تدور الالكترونات حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس. وكان الذي أدّى إلى هذا التصور الفلكي لبنية الذرة اكتشاف العلماء وجود فراغ هائل في الذرة، هو بالنسبة إلى حجم الالكترون وحجم النواة، كالفراغ الموجود بين الشمس والأرض. وكما رأينا من جهة ثالثة كيف انتهى البحث في الضوء إلى اكتشاف الطبيعة الكهرطيسية لأمواجه (ماكسويل)، وكيف أدت دراسة الجسم الأسود إلى اكتشاف كوانتوم الطاقة. هذا إلى جانب الأبحاث التي قام بها ماكسويل ولورنز والتي ساعدت على تشييد تصور واضح للالكترون.

هكذا وجد العلماء أنفسهم أمام كائنات علمية جديدة، اكتشفت بطرق مختلفة وفي ميادين مختلفة كذلك (الغازات، الكهرباء، الضوء)، كائنات تربط بينها وشائج متينة من القربى وتتجلى في آثار وخصائص تجمع بينها. وقد تأكد هذا بكيفية قاطعة حينما تبين أن كوانتوم الطاقة عنصر يجب ادخاله ضرورة في عالم الجسيمات الدقيقة، عالم الذرة. وكان العالم والفيزيائي الكبير، نيل بور أكثر من غيره انتباهاً إلى ضرورة ادخال كوانتوم العمل في الحساب، لفهم بنية الذرة كما تصورها روترفورد.

كان العلم آنذاك يعيش أزمة نمو، فظهر وكأنه توقف عن النمو. وكما يحدث دائماً في مثل هذه الحالات، فإن تخطي الأزمة والدخول في آفاق جديدة يتطلب تحقيق التكامل والانسجام بين هذه المعطيات التي تفرض نفسها، على الرغم من تناقض بعضها مع بعض، بل بسبب من هذا التناقض نفسه. إن العلم يؤمن بوحدة قوانين الطبيعة، فلا بد إذن من تجاوز التناقضات التي تفرق بين المعطيات المذكورة.

لقد طرح النموذج الفلكي للذرة صعوبات خطيرة يستعصي حلها في اطار النظريات السائدة قبل. ولكنه نموذج تفرضه ظواهر تجريبية وتزكيه قوانين أخرى معروفة ومؤكدة. إن قوانين الميكانيكا الكلاسيكية تقتضي أن يدور الالكترون حول النواة بقوة الجاذبية كما تدور الأرض حول الشمس، وإلاّ سقط في النواة. ولكن قوانين الديناميكا الكهربائية تستلزم أن يصدر الالكترون طاقة باستمرار، الشيء الذي يضعفه باطراد، ويحتم عليه السقوط في النواة! وإذن: يجب أن لا يسقط الالكترون في النواة، هذا ما يقرره العلم. ولكنه يجب أن يسقط في النواة وهذا ما يقرره العلم كذلك. فكيف الخروج من هذا المأزق؟ ما العمل حتى «يمتنع» الالكترون من السقوط في النواة؟

نعم إن الطبيعة ما تزال بخير. فالذرة تحتفظ بتوازنها واستقرارها، وهذا يعني أن الالكترون لا يسقط في النواة، ولو حصل ذلك لانهار العالم. ولكن، أليست القوى القاعلة بين الالكترون والنواة قوى كهربية؟ أليست خاضعة لمعادلة ماكسويل؟ ألا تحدد قيم كتلة الالكترون وشحنته بواسطة قيامات كهربائية؟ الجواب الذي يقرره العلم هو: نعم. وإذا كان الأمر كذلك، فلماذا لا يخضع الالكترون داخل الذرة لقوانين الديناميكا الكهربائية التي تفرض عليه السقوط في النواة، وهو يتوفر على جميع الشروط التي تدفع به إلى السقوط وفق نظرية ماكسويل التي لا يجوز الشك فيها؟

تلك هي المشكلة التي واجهت العلماء في العقدين الأولين من هذا القرن، وقد عمدنا إلى ابرازها والإلحاح على التناقض الذي تطرحه ليلمس القارىء عن قرب طبيعة المعرفة العلمية، وكيفية بنائها، وبالتالي نوع «الوجود» الذي يمنحه العلم للكائنات التي يتعامل معها. إنها مشكلة ابيستيمولوجية سنعالج بعض جوانبها من خلال نصوص هذا القسم.

كان نيل بور أكثر الفيزيائيين انشغالاً ببنية الذرة وحركة الالكترون والمشاكل التي تطرحها هذه الحركة (السقوط، وعدم السقوط في النواة). وبعد بحث ودراسة أدلى بمسلمتين تنقذان الالكترون من السقوط:

- تقول المسلمة الأولى: توجد في الذرة مدارات إذا سار فيها الالكترون كف عن اطلاق أمواج كهرطيسية، مما يجعل الالكترون في «حالة قارة». ومن هنا ذلك المصطلح الأساسي في نظرية بور، مصطلح «الحالات القارة»[2] Les états stationnaires وبإمكاننا تسميتها بـ «المحطات المدارية».

- وتقول المسلمة الثانية: لا يصدر الالكترون أمواجاً كهرطيسية إلاّ عندما يقفز من «محطة مدارية» إلى أخرى (أي عندما تتغير قيم المحددات التي تضبط موقعه وحركته داخل منظومة معينة). وهو لا يقفز من محطة إلى أخرى إلاّ إذا استثير، فلكي يقوم بقفزة لا بد من كوانتوم الطاقة.

ولتوضيح مدلول هاتين المسلمتين نأخذ ذرة الهيدروجين كمثال، وهي كما نعرف مكوّنة من نواة ذات بروتون واحد شحنته موجبة، والكترون واحد ذي شحنة سالبة يدور حول النواة. هناك مدارات محددة واقعة على مسافات مختلفة من النواة، تشكّل المدارات الممكنة للالكترون. وعندما يوجد الالكترون في واحدة منها (وهذا مجرد كلام، لأن الالكترون يمكن أن يوجد فيها جميعاً في آن واحد كما سنرى) نقول عنه إنه في حالة قارة. ويمكننا تعيين هذه المدارات بترقيمها ابتداء من النواة بالأعداد الصحيحة 1, 2, 3, 4. . . .

---

(٢) «حالة» الجسم في الاصطلاح الذري هي - بالتقريب - الوضعية التي يوجد فيها داخل منظومة معينة، من حيث الموقع والحركة. وبما أن الالكترون دائم الحركة، فلا يمكن الحديث عن موقعه دون اعتبار حركته، فموقع الالكترون وحركته في المنظومة الذرية يعبّر عنهما بـ «حالته».

في الحالة العادية يقع الالكترون في المحطة الأولى، ولكي ينتقل منها إلى المحطة الثانية لا بد من تزويده بقدر معين من الطاقة، هو الكوانتوم، أي لا بد من طاقة اضافية تمكنه من القفز من الحالة الأولى إلى الثانية.

وعندما يعود الالكترون إلى وضعه الأول، أي عندما يرجع إلى الحالة الأولى تطلق الذرة نفس الكمية من الطاقة على شكل اشعاع ضوئي. وهكذا فعندما يكون الالكترون في المحطة المدارية الأولى - القريبة من النواة - حيث يساوي عدده الكوانتي الواحد الصحيح، نقول إنه في الحالة الأساسية، وعندما يكون عدده الكوانتي أكبر من الواحد الصحيح نقول عنه إنه في حالة مستثارة. وقد تمكن بور من صياغة المعادلة الرياضية التي تضبط قيم الطاقة التي لا بد منها لنقل الالكترون عبر المحطات المدارية تلك، وقيم الطاقة الاشعاعية التي يطلقها عند عودته القهقرى إلى المحطة الأولى. ويستفاد من هذه المعادلة أن الالكترون عندما يكون في الحالة الأساسية، أي عندما يكون عدد الكوانتي يساوي الواحد الصحيح، تكون ذرة الهيدروجين ذات شعاع (= نصف قطر الدائرة) يساوي $0,53 \times 10^{-8}$ سنتيمتر، أو 0,53 انغستروم[3]، وبالتالي يكون قطرها مساوياً لـ 1,06 انغستروم، وهو نفس الطول الذي قدر به قطرها بواسطة النظرية الحركية للغازات.

وواضح أن هذا التوافق بين تقدير بور لقطر ذرة الهيدروجين، والتقدير السابق له، يعزز فرضية بور ويزكيها. هذا بالإضافة إلى تمكن بور من ادخال كوانتوم الطاقة - الذي اكتشف في اطار نظرية الاشعاع الحراري (الجسم الأسود) - إلى الذرة واتخاذه أساساً لقياس أبعادها وتوقع تواتر الاشعاع الذي تطلقه في وقت لم يكن في الكوانتوم مرتبطاً بأي شكل مع الذرة أو مع الاشعاع الصادر منها. ولا شك أن الفضل في هذا يرجع إلى ايمانه بوحدة قوانين الطبيعة، وهو نفس الايمان الذي دفع اينشتين إلى انشاء نظريته النسبية المعممة.

ومع ذلك، فلقد بقيت فرضية بور مجرد فرضية صالحة كمنطلق للبحث. ولم يكن من الممكن تحويلها إلى «حقيقة علمية» إلا بعد تأكيدها بالتجربة، أي بعد أن تتأكد النتائج المستخلصة منها تأكيداً تجريبياً. ولقد كان نجاح فرضية بور في القاء مزيد من الضوء على قوانين أخرى كانت قد اكتشفت في الميدان الذري ذاته، حافزاً لعلماء آخرين للمضي قدماً في طريق اكتناه أسرار الذرة. وكان سوميرفلد Sommerfeld (١٨٦٨ - ١٩٥١) على رأس أولئك الذين عملوا على تطوير نظرية بور، مقترحاً ما يلي: إذا كانت الذرة تشبه فعلاً المنظومة الشمسية، فيجب أن تكون مدارات الالكترون، مدارات اهليلجية لا مدارات دائرية.

---

(٣) الانغستروم Angström وحدة للقياس تحمل اسم العالم السويدي الذي قال بها أول مرة. وتساوي جزءاً واحداً من عشرة آلاف جزء من الميكرون Micron الذي يساوي بدوره جزءاً واحداً من عشرة آلاف جزء من السنتيمتر. فالانغستروم إذن تساوي جزءاً واحداً من عشرة ملايين جزء من المليمتر. (= حاصل قسمة المليمتر على ١٠ ملايين، أو قسمة السنتيمتر على مائة مليون). هذا ويرمز للانغستروم بالحرف A، وللميكرون بالحرف U.

وبالتالي فإن نواة الذرة يجب أن توجد في أحد مركزي الاهليلج، وفقاً لنظرية كبلر الفلكية[4]. وهكذا عدل سوميرفلد نظرية بور مستعيناً بنظرية النسبية في حساب طاقة الالكترون عند انتقاله عن مدار اهليلجي إلى آخر. وقد تمكن علماء آخرون بواسطة التجارب، من تأكيد صحة فرضية بور حول «الحالات القارة» والقفزات الكوانتية الخاصة بالالكترون. فلقد تبين بالفعل أن هذا الأخير لا يستطيع الانتقال من حالة قارة إلى حالة قارة أخرى إلا بواسطة طفرة.

وإذن فلقد تعزز التصور الفلكي لبنية الذرة، وقدمت نظرية بور امكانات كبيرة للبحث قصد حل المشاكل المعلقة، وفي مقدمتها المشكلة التي أبرزناها من قبل، التي تتلخص في السؤال التالي: لماذا لا يسقط الالكترون في نواة الذرة وفق ما تقتضيه الديناميكية الكهربائية؟

إن الجواب عن هذا السؤال سيقدمه العالم الألماني هايزنبرغ الذي استدعاه بور للعمل معه في كوبنهاغن، والذي أسس، كما أشرنا إلى ذلك قبل، الميكانيكا الكوانتية.

بعد ستة أشهر قضاها هايزنبرغ في بحث متواصل مع بور وزملائه، شعر بالتعب فقرر أخذ عطلة. وكان ذلك في شهر حزيران/ يونيو من سنة ١٩٢٥. وبينما هو في عطلته يحاول نسيان الالكترون وحركته إذا بفكرة تنبثق في ذهنه، فكرة مؤداها أنه من الحمق اعتبار حركة الالكترون داخل الذرة كحركة كرة صغيرة تجري حول مدار ما. ذلك لأن الالكترون هو من التعقيد والصغر بحيث يستحيل تطبيق قوانين الميكانيكا الكلاسيكية على حركته. إن المعادلات التي يحاول العلماء تطبيقها على الالكترون تخص حركة الأجسام الكبيرة القابلة للقياس تجريبياً. وبما أن التجربة ـ وهذا هو الواقع ـ تؤكد أن الذرة متوازية، وأنها تتألف من نواة تدور حولها الالكترونات، وأن هذه تطلق مقداراً معيناً من الطاقة عندما تثار، أي عندما نحاول إخراجها من حالتها المتوازية، فإنه ليس من الضروري أن يوجد الالكترون عند انتقاله من حالة قارة إلى أخرى، في هاتين الحالتين معاً. بمعنى أن طبيعته الخالصة تفرض علينا اعتباره لا كجسم ينتقل من مكان إلى آخر، بل كـ «شيء» يمكن أن يوجد في نفس الوقت في أمكنة مختلفة، وبالتالي فلا يمكن أن يوجد بين محطتين مداريتين قارتين، لأن وجوده بينهما يتنافى مع طبيعته الخاصة (المشكلة التي تطرحها نظرية بور تنحصر كلها في: ماذا يحصل عندما يكون الالكترون بين محطتين مداريتين). بعبارة أخرى لا يمكن أن يتخذ الالكترون لنفسه مساراً متصلاً عند انتقاله من مدار قار إلى مدار آخر مماثل، لأن مساراً كهذا لا يوجد في الذرة. وإذن، فبدلاً من المسار المتصل يجب البحث عن مسار آخر (منفصل) ينسجم مع الأعداد الكوانتية للحالة الابتدائية والحالة النهائية للالكترون.

---

(٤) تنص قوانين كبلر (١٥٧١ ـ ١٦٣٠) على ما يلي:

«ترسم الكواكب في حركتها أشكالاً اهليلجية (بيضوية) تحتل الشمس أحد مركزيها» (تشمل الدائرة على مركز واحد، والشكل البيضوي على مركزين).

«الشعاع الفيكتوري الذي يربط كوكباً ما بالشمس يغطي مساحات متساوية في أزمنة متساوية».

«مربع الزمن يقضيه الكوكب في الدوران حول مداره متناسب مع مكعب متوسط المسافة التي تفصله عن الشمس».

ولبيان ذلك نورد المثال التالي: فلو فرضنا أن ذبابة تنتقل على رقعة شطرنج من مربع إلى آخر، فإنه بالإمكان أيضاً التعرّف على خط سير الذبابة على الرقعة المذكورة ـ ولتكن لانهائية المربعات ـ من خلال النظرة إلى كل مربع من المربعات التي وجدت فيها الذبابة، كلا على حدة، بحيث يكون مسار الذبابة مشتملاً على عدد ما من الأعداد الكوانتية التي تتوقف قيمتها على موقع كل مربع في الرقعة. إن الموقع هنا يحدد قيمة الأعداد الكوانتية. وهذا شيء مخالف لما تعودنا عليه، فالمعادلة التالية: 2 + 3 = 5 هي نفسها عندما نغير موقع العددين 2 و3 ونكتب: 3 + 2 = 5. فموقع الرقم 2، والرقم 3 في الطرف الأول من المعادلة لا يغير شيئاً في النتيجة ولكن هذا لا يصلح لتحديد قيم الأعداد الكوانتية التي للالكترون ما دام الموقع يغير من النتيجة، فلا بد إذن من نوع آخر من الحساب تراعى فيه مواقع الحدود في المعادلة الجبرية (أي موقع المربعات داخل رقعة الشطرنج). ومن حسن الحظ أن الرياضيين كانوا قد شيّدوا فعلاً صرح نوع جديد من الحساب سمّوه الحساب الماتريسي ـ أو حساب المصفوفات ـ Calcul des matrices تراعى فيه مواقع الحدود في أية معادلة أو عملية حسابية، مراعاة تجعل النتيجة تختلف باختلاف مواقع الحدود في المعادلة. وهكذا ففي هذا النوع من الحساب لا يمكن القول إن 2 × 3 تساوي 3 × 2، لأن تبادل المواقع بين العددين 2 و3 يغير النتيجة.

أدخل هايزنبرغ حساب المصفوفات في ميدان الذرّة، بعد أن كان مجرد «شطحات» رياضية، فتمكن من صياغة المعادلة التي «تضبط» حركة الالكترون في الذرة، متصوراً هذه الحركة، لا على أنها عبارة عن انتقال الالكترون من مدار ما حول النواة إلى مدار آخر، بل بوصفها تغيراً وتعديلاً لحالة المنظومة الذرية في الزمن، تغيراً تضبطه الماتريسات. وعليه فإن مشكلة احتفاظ الذرة على توازنها واستقرارها (وبالتالي عدم سقوط الالكترون في النواة) تصبح مشكلة غير ذات موضوع. ذلك لأن الالكترون عندما يكون في ذرة غير مستثارة، يبقى حسب هذا التصور الجديد لنوعية حركته، ساكناً، وبالتالي فهو لا يصدر أية طاقة. أما عندما «ينتقل» من محطة مدارية إلى أخرى، أي عندما تتغير حالة المنظومة الذرية في الزمن، فإنه من الممكن «ضبط» هذا التغير، بطريقة احتمالية، أي بواسطة معادلة خاصة، هي معادلة علاقات الارتياب.

٢ ـ علاقات الارتياب

تنص علاقات الارتياب Les relations d'inertitudes أو علاقات عدم التحديد ـ التي صاغها هايزنبرغ على أنه لا يمكن تحديد موقع الالكترون وسرعته في آن واحد. وهي كما يلي:

$$\Delta \text{ م} \times \Delta \text{ س} \geqslant \text{هـ}$$

حيث تشير «م» إلى الموقع، و «س» إلى السرعة (وبتعبير أصح: كمية الحركة وهي الكتلة مضروبة في السرعة)، أما «هـ» فهي ثابت بلانك، وعلى هذا فإن الخطأ في تحديد الموقع مضروباً في الخطأ في تحديد السرعة يساوي، أو اكبر من ثابت بلانك. وبما أن «هـ»

عدد ثابت (قيمته تساوي $6,626 \times 10^{-27}$ من القياس السغثي: سنتمتر، غرام، ثانية) فإن أي تدقيق من شأنه أن يقلل من الخطأ في تحديد الموقع (△ م) سيؤدي بالضرورة إلى زيادة الخطأ في تحديد السرعة (△ س) والعكس صحيح أيضاً.

لماذا هذا الخطأ؟

عندما نريد ضبط موقع الالكترون لا بد من أن نسلط عليه شعاعاً ضوئياً، أي لا بد من أن نقذفه بقوة، وهو حبة من الطاقة كما رأينا قبل. ونحن نعرف أنه عندما يصطدم الفوتون بالالكترون يأخذ منه هذا الأخير قسطاً من طاقته يضيفها إلى نفسه فتزداد سرعته فيلتبس عليه موقعه، ويشبه الفيزيائي الفرنسي ديتوش Destouche هذه الظاهرة بقطة محصورة في قبو مظلم تخاف من الضوء وتهرب منه. وهكذا فعندما نريد تحديد موقعها في القبو نكون مضطرين إلى النظر إليها من خلال ثقب صغير نرسل منه بعض الضوء. ولكن بما أنها تخاف الضوء وتهرب منه، فإنها تفر بمجرد أن نراه، الشيء الذي يجعل من المستحيل علينا تحديد موقعها بالضبط. وكل ما يمكننا قوله هو إنها توجد في القبو. وفي هذه الحالة يكون من المحتمل أن توجد في كل نقطة من نقاط القبو، تماماً كالالكترون الذي يبقى وجوده في هذا الدار أو ذاك أو فيها جميعاً محتملاً جداً.

إن علاقات الارتياب هذه تطرح بحدة مشكلة الحتمية في العلم. فالحتمية العلمية تقوم كلها على الاعتقاد في امكانية توقع موقع الجسم إذا عرفت سرعته. وبما أن هذا التوقع أصبح مستحيلاً في الفيزياء الذرية، فالتصور الكلاسيكي للحتمية ينهار تماماً ليحل محله الاحتمال. وتلك مشكلة سنعالجها بإيجاز في فقرة لاحقة، وبتفصيل في النصوص.

أما الآن فعلينا أن نزيد مسألة حركة الالكترون وضوحاً، وذلك بالعودة إلى الميكانيكا الموجية التي أسسها دوبروي والمقارنة بينها وبين ميكانيكا الكوانتا لهايزنبرغ.

ثامناً: توافق الميكانيكا الموجية والميكانيكا الكوانتية

رأينا قبل، كيف استطاع لوي دوبروي الجمع بين المظهرين الجسمي والموجي في الشعاع الضوئي، وكيف أنه عمم نظريته، بعد ذلك، مؤسساً الميكانيكا الموجية. ونريد الآن أن نشرح كيف طبق دوبروي نظريته هذه على حركة الالكترون في الذرة حول النواة.

الالكترون حسب نظرية دوبروي عبارة عن حبة كهربائية مصحوبة بموجة، مثله مثل الفوتون وباقي الجسيمات الذرية. ومعنى ذلك أنه يدور حول النواة بوصفه حبة وموجة في آن واحد. وقد تتضح لنا نوعية حركة الالكترون حول النواة إذا لجأنا إلى التشبيه التالي:

لنفرض أنك نقرت بأصبعك على وتر من أوتار العود (الآلة الموسيقية المعروفة) لا شك أن الوتر سيهتز محدثاً موجات تسري في الهواء، هي الموجات الصوتية التي تترجم في آذاننا إلى اهتزازات معينة تنتقل إلى الدماغ الذي يترجمها إلى أصوات. لنتخيل أن المحطات المدارية التي يوجد فيها الالكترون حول النواة هي هذه الأمواج والذبذبات التي تحدث بالنقر على

الوتر. إن الالكترون بوصفه موجة سينتشر على طول المدار مثلما تنتشر موجة النقر أو ذبذبته على طول الوتر، وبين الأوتار الأخرى.

وانطلاقاً من هذا التصور الذي يوحي به هذا التشبيه استطاع دوبروي أن يعبر عن نظرية نيلز بور حول «الحالات القارة» تعبيراً جديداً أكثر خصوبة ومعقولية: فالحالة القارة (أو المحطة المدارية بتعبيرنا) هي عبارة عن المسار الذي تتخذ فيه موجة الالكترون عدداً كوانتياً صحيحاً. وبما أن هناك عدة حالات ممكنة يمكن أن يقع فيها الالكترون في آن واحد (قارن موجات وتر العود) فإنه يغدو من المستحيل الجزم بوجود الالكترون في محطة مدارية بعينها، بل هناك دوماً احتمال وجوده في حالتين أو أكثر (وبالنسبة إلى بعض الذرات الثقيلة هناك احتمال لوجود الالكترون داخل النواة نفسها، ويقال حينئذ إن النواة تأسر الالكترون). والنتيجة من ذلك كله هو أنه من غير الممكن قط ظهور الالكترون بين المحطات المدارية، لأن «حالة» ما بين المدارات لا تنتمي إلى الحالات الممكنة أو المحتملة للالكترون.

ويعطي دوبروي لكل حالة من الحالات الممكنة للالكترون دالة موجية خاصة تعرف بدالة بسي ψ (اسم الحرف اليوناني المرسوم) وهي التعبير الرياضي عن الموجة التي تصحب الالكترون دوماً. وبما أن للالكترون عدة حالات ممكنة، فإن له تبعاً لذلك عدداً مقابلاً من الدوال الذاتية الخاصة به: ψ_1، ψ_2، ψ_3، ψ_4. وهي تختلف في ما بينها بعدد كوانتي واحد على الأقل.

هذا عن حالات تراكب الالكترون الممكنة أو المحتملة، أما حالته الفعلية فإنها تتكون من تراكب (أي مجموع) حالاته الذاتية التي يؤخذ كل منها حسب احتمالها. وهكذا فالحالة الفعلية ψ للالكترون تكتب كما يلي:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \psi_4 \ldots$$

ومن هنا يتضح أن الالكترون في الذرة شبيه بسائل موزع على عدة حالات بشكل غير منتظم. فلا يمكن تحديد موقعه، وبعبارة أصح لا يمكن تحديد حالة واحدة بعينها يكون فيها دون غيرها. وإنما يمكن احتمال وجوده في بعض الحالات بدرجات أكبر نسبياً من احتمال وجوده في حالات أخرى. إن «توزع» الالكترون في عدة حالات لا يعني أنه مقسم إلى أجزاء، كل جزء منها في حالة واحدة، معينة، كلا. إن ذلك يعني أنه يوجد بأكمله في حالة واحدة بعينها، ولكن احتمال وجوده في هذه الحالة أو تلك، هو الذي يجعله وكأنه موزع بين هذه الحالات المحتمل وجوده فيها (فالوجود هنا، وجود معرفي، لا انطولوجي).

هكذا يلتقي دوبروي مع هايزنبرغ في القول بعدم امكانية تحديد الالكترون، أي ضبط موقعه وسرعته في آن واحد، لأن الالكترون لا يتصف بخصائص جسيمية فقط، ولكن أيضاً بخصائص موجية. وقد حدّد دوبروي موجة الالكترون كما يلي:

$$\lambda = \frac{\text{هـ}}{\text{ك س}} \quad \text{أو} = \frac{\text{هـ}}{\text{ح}}$$

حيث يرمز الحرف اليوناني λ إلى موجة الالكترون، والحرف ك إلى كتلته، والحرف س إلى سرعته (وحاصل ضرب الكتلة في السرعة يعبر عن كمية الحركة ح). وبالنظر إلى هذه المعادلة يتضح أنه من المستحيل تحديد موقع الالكترون أي احداثيته على محور السينات، وكمية حركته، أي احداثيته على محور الصادات، في آن واحد، وإنما يمكن ذلك بطريقة احتمالية حسب علاقات الارتياب لهايزنبرغ. إن موقع الالكترون يعني هنا طول موجته، وهو طول يتوقف كما يتضح من المعادلة السابقة على كتلته وسرعته. وإذا تذكرنا ما تقوله نظرية النسبية من أن الكتلة تتغير مع السرعة، وعرفنا أن سرعة الالكترون من السرعات المقاربة لسرعة الضوء، أدركنا مدى صعوبة، بل استحالة، تحديد موقعه وسرعته في آن واحد، وكلاهما تتحكم فيهما العلاقة بين الكتلة والسرعة حسب نظرية النسبية. أضف إلى ذلك أن حاصل ضرب عدم تحديد الموقع (△ م) في عدم تحديد السرعة (△ س) لا يمكن أن يقل عن «هـ» (ثابت بلانك)، لأن كوانتوم العمل لا يمكن أن يفتت إلى أجزاء، فهو وحدة منفصلة لا تقبل التجزئة.

يتضح لنا مما تقدم التوافق التام بين الميكانيكا الموجية والميكانيكا الكوانتية. إنهما في الحقيقة وجهان لعملة واحدة. وهذا ما أثبته شرودنغر بعد مقارنتهما مقارنة دقيقة. لقد أثبت أنهما متوافقتان تعزز الواحدة منهما الأخرى، مما حدا بأحد العلماء إلى تشبيه دوبروي وهايزنبرغ برجلين اكتشفا معاً القارة الأمريكية، ولكن أحدهما انطلق إليها من المحيط الأطلسي، والثاني من المحيط الهادىء. إن في ذلك دليلاً آخر على وحدة قوانين الطبيعة.

تاسعاً: بعض النتائج الابستيمولوجية للثورة الكوانتية[٥]

لعل أبرز العلماء الذين أسرعوا إلى اتخاذ مكتشفات العلم في ميدان الميكروفيزياء منطلقاً لنظرية «جديدة» في المعرفة، العالم الفيزيائي نيل بور، الذي تحدثنا عنه قبل. لقد أسس هذا العالم مدرسة ابستيمولوجية، تعرف بمدرسة كوبنهاغن، وهي ذات اتجاه وضعي واضح، تختلف عن المدرسة الفرنسية (ومن أقطابها دوبروي) اختلافاً كبيراً، من حيث إن هذه الأخيرة تتشبث بالتقليد العقلاني الفرنسي، وبالتالي لا تتساق مع رؤى الوضعية الجديدة اتساقاً تاماً.

يرى بور أن الدرس الأساسي الذي يجب استخلاصه من الفيزياء الذرية هو أن مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية مفاهيم محددة بحدود ظواهر العالم الماكروسكوبي، وبالتالي فهي لا تنطبق على الميدان الذري. ولذلك يجب تعديلها حتى نتمكن من فهم ما يجري في الميدان الميكروفيزيائي.

وهكذا فما كنا نعده تناقضاً في عالمنا العياني الذي نعيش فيه، يظهر لنا في الميدان الذري على أنه تكامل، ومن هنا نظريته التكاملية La complementarité فالمظهر الموجي

(٥) سنعالج في النصوص أهم هذه النتائج بأقلام كبار العلماء أنفسهم. ولذلك، يجب النظر إلى هذه الفقرة كمجرد تمهيد فقط للنصوص المقبلة.

والمظهر الجسيمي في الضوء، متكاملان، وغير متناقضين. إنهما كسفحي جبل، يخفي أحدهما الآخر ولا ينفيه. وإذا كان من غير الممكن رؤية أحدهما ونحن في الآخر، فإن الارتفاع إلى قمة الجبل يمكننا من مشاهدتهما معاً، وحينئذ يظهران متكاملين يعبران عن حقيقة واحدة، هي ما ندعوه الجبل. يقول بور «إن مفهوم التكامل يقتضي منا اعطاء نفس الدرجة من الواقعية للمظهر الجسيمي والمظهر الموجي، والاعتراف صراحة بأننا نجد أنفسنا دوماً أمام أحدهما فقط دون الآخر، حينما نقوم بالتجارب، وأنه لا يمكن الحصول عليهما معاً في آن واحد».

على أن بور قد ذهب في هذا مذهباً قصياً، فعمّم نظريته التكاملية هذه على ظواهر أخرى لا تنتمي إلى عالم الميكروفيزياء، ظواهر بيولوجية وسيكولوجية واجتماعية على المستوى البشري المعتاد، مؤكداً أن «الدرس الفلسفي الذي تقدمه لنا الفيزياء الحديثة... يمكنه أن يوحي لنا بوسائل جديدة تمكننا من دراسة ميادين أخرى هي في حقيقتها أكثر تداخلاً واشتباكاً وتعقيداً»، مثل الميدان البيولوجي والميدان السيكولوجي والميدان الاجتماعي والتاريخي[6].

على أن أكثر المسائل التي دار حولها نقاش عريض واسع عقب الكشوف العلمية التي تحدثنا عنها، وخاصة منها كوانتوم الطاقة وعلاقات الارتياب، هي مشكلة الحتمية. وكما أشرنا إلى ذلك قبل، فالحتمية التي طالما تغنى بها العلم والعلماء انقلبت مع علاقات الارتياب إلى «لاحتمية».

يقول بور: إن مسلمة الكوانتا تمنعنا من تفسير الظواهر الذرية تفسيراً يعتمد في آن واحد السببية والعلاقات الزمانية ـ المكانية. ذلك لأننا عندما نفسر الظواهر العادية نفترض مسبقاً أن ملاحظة الظاهرة ـ أي قياسها التجريبي ـ لا تؤثر في الظاهرة موضوع الملاحظة، هذا في حين أن المسلمة الكوانتية تتطلب منا الاقتناع بأن كل ملاحظة للظواهر الذرية تؤدي إلى تدخل آلة القياس في الظاهرة نفسها تدخلاً يؤثر تأثيراً واضحاً. وبالتالي لا يمكن أن نعطي لا للآلة، ولا للظاهرة واقعاً فيزيائياً مستقلاً بذاته[7].

وهنا تطرح مشكلة الذاتية والموضوعية في المعرفة العلمية، وهي التي كانت تتميز عن المعرفة الفلسفية بالموضوعية. فإذا كنا في الفيزياء الكلاسيكية نلاحظ أن أدوات القياس لا تؤثر في الموضوع الذي نقيسه (قياس هذه الطاولة لا يغير منها شيئاً) فإن الأمر ليس كذلك في عالم الميكروفيزياء. إن أدوات القياس تؤثر بشكل واضح في الموضوع نفسه (قارن هذا بما قلناه بصدد علاقات الارتياب)، وبالتالي فإن الذات (القياس) والموضوع (ما يقاس) يتعاونان بالضرورة على صنع الشيء الخارجي. فالجسم إذن هو مزيج من الذاتية والموضوعية، وبالتالي فإن العالم الخارجي شارك الذات في صنعه (ومن هنا المسحة المثالية التي ترافق الوضعية الجديدة).

---

(٦) انظر في قسم النصوص نصاً لبور في هذا الشأن.

(٧) انظر قسم النصوص، حيث أدرجنا نصاً للويروي في الموضوع.

وترتبط المشكلة التي نحن بصددها بقضية الزمان والمكان. إن استحالة تحديد موقع الجسم (المكان) وسرعته (الزمان) في آن واحد يطرح من جديد مشكلة العلاقة بين الزمان والمكان، طرحاً يختلف عن الشكل الذي طرحتها به نظرية النسبية.

ففي نظرية النسبية كنا نتحدث عن زمان الملاحظ (الزمان الخاص) ومكانه (منظومته المرجعية)، وبعبارة أخرى كنا نربط الزمان والمكان بالشخص الملاحظ، أما هنا في النظرية الكوانتية فإننا نتحدث عن زمان ومكان الجسم، أي الموضوع. وكما قال بياجي: في نظرية النسبية، أي في مجال العالم الأكبر تندمج الذات في الظواهر موضوع القياس، أما في نظرية الكوانتا، أي في مجال العالم الأصغر، فيحصل العكس، إن الظاهرة هنا هي التي تندمج في عمل الذات، في قياساتها وأدوات هذا القياس[(٨)].

كل هذه المسائل تطرح مشاكل أخطر وأعم: النظرية الفيزيائية وحدودها، الحقيقة العلمية وطبيعتها، دور كل من العقل والتجربة في بناء المعرفة العلمية، إلى غير ذلك من القضايا الابستيمولوجية التي آثرنا ترك الحديث عنها في قسم النصوص للمختصين أنفسهم.

---

(٨) Jean Piaget, *Introduction à l'épistémologie génétique*, 2 tomes (Paris: Presses universitaires de France, 1974), tome 2: *La Physique*, p. 219.

القسم الثالث

النصوص



١ ـ مطلقات نيوتن[١]

نيوتن

بنى نيوتن ميكانيكاه على مطلقات ثلاثة: الزمان المطلق والمكان المطلق والحركة المطلقة، وذلك في مقابل الزمان النسبي والمكان النسبي والحركة النسبية. إن حركة الشخص الذي يمشي على ظهر سفينة تجري في البحر حركة نسبية، أما حركة الأرض في الأثير (الساكن) فحركة مطلقة. إذن هناك نوعان من الحركة: حركة الأجسام بالنسبة إلى بعضها بعضاً، (وهي نسبية) وحركة الأجسام السماوية في الأثير الساكن (وهي مطلقة). والتمييز بين الحركة المطلقة والحركة النسبية يؤدي إلى التمييز بين الزمان المطلق والزمان النسبي والمكان المطلق والمكان النسبي لأن الحركة لا تتصور إلاّ في زمان ومكان وكذلك الشأن بالنسبة إلى المحل أي الحيز الذي يشغله الجسم من المكان. وإذن فالمكان والزمان، حسب نيوتن، اطاران واقعيان مطلقان مستقلان عن الأشياء التي توجد فيهما والحوادث التي تجري فيهما. والزمان الذي يرمز إليه بحرف «ز» في المعادلات الميكانيكية هو هذا الزمان المطلق الذي ينساب بشكل منتظم، فلكي يدخل الزمان «ز» كمتغير وسيطي (برامتر) في المعادلات يجب أن يكون مطلقاً وإلاّ فكيف يمكن أن تحدد قيمه قيم المتغيرات الأخرى؟

ذلك هو الأساس الذي قامت عليه الفيزياء الكلاسيكية كلها. ونيوتن لا يبرهن على وجود الزمان المطلق والمكان المطلق بل يفترضهما افتراضاً ويضفي عليهما خصائص معينة، ولكنه يحاول البرهنة على الحركة المطلقة بواسطة القوة النابذة La force centrifuge كما يشرح ذلك في هذا النص بمثال الاناء المعلق في حبل. والقول بالزمان المطلق يقتضي القول بالتآني أي بتزامن الحوادث، أي بوجود زمان واحد بالنسبة إلى جميع الملاحظين الذين يراقبون جسماً متحركاً، وهذا ما أثبتت نظرية النسبية عدم صحته. كما أن القول بالحركة المطلقة يستلزم القول بالمكان المطلق أي الأثير. وكانت تجربة ميكلسن ومورلي الرامية إلى قياس الحركة المطلقة للأرض بالنسبة إلى الأثير الساكن، والنتائج السلبية التي أسفرت عنها هذه التجربة، نقطة انطلاق نظرية النسبية كما شرحنا ذلك في الفصل قبل الأخير.

«... الزمان والمكان والحيز والحركة مفاهيم يعرفها الناس جميعاً، فلا حاجة بنا إلى تعريفها، ولكن علينا أن نلاحظ أن الناس، عادة لا يتصورون هذه المقادير إلاّ من خلال علاقاتها بالأشياء الحسية، مما ينتج عنه عدد من الأحكام المسبقة، يتطلب تبديدها التمييز في

---

(١) Isaac Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, traduction de Mme du Châtelet, tome 1, pp. 8-14.

هذه المقادير بين ما هو مطلق وما هو نسبي، بين ما هو حقيقي، وما هو ظاهري، بين ما هو رياضي وما هو عامي.

الزمان المطلق، الحقيقي والرياضي، الذي لا علاقة له بأي شيء خارجي، ينساب بانتظام ويسمى الديمومة. أما الزمان النسبي، الظاهري العامي، فهو هذا المقدار الحسي الخارجي، الساعة واليوم والشهر والسنة، الذي نستعمله عادة لقياس جزء من الديمومة بواسطة الحركة، والذي يكون دقيقاً تارة وتقريبياً تارة أخرى.

والمكان المطلق الذي لا علاقة له بأي شيء من الأشياء الخارجية الحسية هو بطبيعته ساكن متجانس دوماً. أما المكان النسبي فهو هذا المقدار المتغير، أو المسافة التي قد تطول أو قد تقصر، والتي نقيس بها المكان المطلق، والتي تحددها حواسنا بناء على موقعها من الأجسام والعوام من الناس يخلطون بينها وبين المكان الثابت. وهكذا يحدد الناس عادة المكان العلوي، في الجو أو في السماء، بناء إلى موقعه من الأرض. ولا يختلف المكان المطلق والمكان النسبي في طبيعتها أو مقدارهما، فهما من هذه الناحية متطابقان. ولكنهما ليسا كذلك دوماً من حيث العدد. ذلك لأنه إذا تحركت الأرض مثلاً، فإن المكان الذي يشغله الهواء المحيط بنا والذي يبقى دوماً هو هو بالنسبة إلى الأرض، يكون تارة جزءاً من المكان المطلق الذي يخترقه الهواء، وتارة جزءاً آخر. وهكذا يتغير موقعه في المكان المطلق دون انقطاع.

وأما الحيز (أو المحل) Lieu فهو ذلك الجزء من المكان، الذي يشغله الجسم. وهو، بالنسبة إلى المكان، إما مطلق وإما نسبي. وأعود فأؤكد أن الحيز هو جزء من المكان. فليس المقصود منه موضع الجسم ولا المساحة المحيطة به. ذلك لأنه عندما يكون الجسمان متساويين يكون الحيز الذي يشغله أحدهما مساوياً دوماً للحيز الذي يشغله الآخر، ولكن مساحة أحدهما تختلف في الغالب عن مساحة الآخر، فتكون أكبر أو أصغر، تبعاً لاختلاف شكلها. كما أن موضعيهما ليسا مقدارين كميين، بمعنى الكلمة، وليسا بالأحرى حيزين، بل هما عددان كيفيان للحيزين. إن حركة الكل هي نفس حركة مجموع أجزائه، فانتقال الكل إلى خارج حيزه هو مجموع انتقال أجزائه إلى خارج حيزها، فحيز الكل هو نفس حيز مجموع أجزائه، فهو إذن داخل في الجسم ومندرج تحت كلية هذا الجسم.

أما الحركة المطلقة فهي انتقال الجسم من حيز مطلق إلى حيز آخر مطلق. والحركة النسبية هي انتقال من حيز نسبي إلى حيز آخر نسبي. وهكذا فالحيز النسبي لجسم موجود فوق سفينة تدفعها الريح بسرعة هو ذلك الموضع الذي يشغله الجسم على السفينة، أو هو هذا الجزء من الحجم الكلي للسفينة الذي يشغله الجسم ويتحرك بحركتها. أما السكون النسبي فهو دوام هذا الجسم في نفس الموضع الذي يحتله في السفينة أو في ذلك الجزء الذي يشغله من حجمها الكلي. وأما السكون الحقيقي فهو دوام الجسم في نفس الجزء من المكان الساكن الذي تتحرك فيه السفينة ككل: حجمها والأشياء الموجودة عليها. ومن هنا يتضح أنه عندما تكون الأرض في حالة سكون حقيقي، فإن الجسم الذي يكون داخل السفينة في حالة سكون حقيقي، فإن الجسم الذي يكون داخل السفينة في حالة سكون نسبي سيصبح

في حالة حركة حقيقية مطلقة تكون سرعتها هي نفس السرعة التي تتحرك بها السفينة على الأرض. أما عندما تتحرك الأرض بدورها، فإن هذا الجسم سيصبح في حالة حركة حقيقية ومطلقة ترجع في جزء منها إلى حركة الأرض حركة حقيقية في المكان الثابت، وفي جزء آخر منها إلى الحركات النسبية، سواء منها حركات السفينة فوق الأرض أو حركات الأجسام فوق السفينة، ومن هذه الحركات تنشأ الحركة النسبية للجسم على الأرض. وهكذا، فإذا كان الجزء من الأرض الذي تتحرك فيه السفينة، يتحرك هو نفسه حركة حقيقية نحو الشرق وبسرعة 10.010 وحدة مثلاً، وكانت الرياح تدفع السفينة نحو الغرب بسرعة 10 وحدات، وكان ربانها يمشي على ظهرها متجهاً نحو الشرق بسرعة 1 (وحدة واحدة)، فإن هذا الأخير، سيكون ذا حركة حقيقية مطلقة في المكان الثابت، سرعتها تساوي 10.001 وحدة في اتجاه الشرق، وذا حركة نسبية على الأرض سرعتها 9 وحدات في اتجاه الغرب.

وفي علم الفلك، يميز بين الزمان المطلق والزمان النسبي بواسطة «معادلة» الزمان العامي. والواقع أن الأيام الطبيعية ليست متساوية ولكن جرت العادة على اعتبارها متساوية حتى يتأتى للناس قياس الزمن. أما علماء الفلك فهم يصححون هذا الاختلاف بين الأيام، حتى يتمكنوا من قياس الحركات السماوية بواسطة زمان أكثر دقة.

ومن الممكن أن لا تكون هناك أية حركة منتظمة من شأنها أن تساعد على قياس الزمان قياساً دقيقاً، ذلك لأن جميع الحركات معرضة للتسارع أو التباطؤ، في حين أن انسياب الزمان المطلق انسياب لا يتغيّر، لا يزيد ولا ينقص.

والديمومة، أو دوام وجود الأشياء، تبقى هي هي، سواء كانت الحركات سريعة أو بطيئة أو كانت منعدمة، ولذلك يميز بينهما، بحق وبين القياسات الحسية، وهذا التمييز يتم بواسطة المعادلة الفلكية...

إن ترتيب أجزاء المكان ترتيب ثابت مثله مثل ترتيب أجزاء الزمان. ذلك لأنه لو أمكن لأجزاء المكان أن تغادر الحيز الذي تشغله فإنها ستكون قد غادرت نفسها، إذا صح هذا التعبير. والواقع أن الأزمنة والأمكنة هي، بشكل ما، حيز لنفسها، وحيز لجميع الأشياء. إن الكون بأجمعه يحدد في الزمان حسب ترتيب التتابع ويحدد في المكان حيز (مكاني - زماني) تشغله الأشياء، ومن غير المعقول أن يكون هذا الحيز الأساسي متحركاً. (إن الذي يتحرك هو الأشياء الموجودة فيه) وإذن فالمكان والزمان حيزان مطلقان، ولا يمكن أن تكون هناك حركات مطلقة إلاّ بالتحرك خارجهما.

ولكن بما أن أجزاء المكان (التي هي حيز للأشياء) لا يمكن إدراكها ولا تمييز بعضها عن بعض بواسطة حواسنا، فإننا نستعمل بدلها، مقادير حسية. وهكذا نحدد جميع الأحواز (جمع حوز بمعنى حيز)، على العموم بواسطة مواقع الأشياء وبعدها بالنسبة إلى جسم معين نعتبره ثابتاً، ثم نأخذ في حساب الحركات بالارتكاز على هذه الأحواز التي حددناها قبل، ظانين أن الأجسام تتحرك بالنسبة إليها فعلاً. وهكذا نضع هذه الأحواز والحركات النسبية مكان الأحواز والحركات المطلقة. وإذا كان هذا الاجراء يلائم حياتنا العادية، فإنه لا بد في

الفلسفة (أي الفيزياء) من التحرر من الحواس ومعطياتها، ذلك لأنه قد لا يكون هناك جسم ساكن سكوناً حقيقياً تتمكن، بالارتكاز عليه، من قياس الأحواز والحركات. . .

إن الآثار (أو الظواهر) التي يمكن التمييز بواسطتها بين الحركة المطلقة والحركة النسبية هي تلك القوى التي تكتسبها الأجسام خلال دورانها، والتي تدفعها إلى الابتعاد عن محور حركتها. إن هذه القوى تنعدم تماماً عندما تكون الأجسام في حالة حركة دائرية نسبية، وأما حينما تكون حركة الجسم حركة حقيقية مطلقة، فإن القوى المذكورة تزداد أو تنقص حسب كمية الحركة.

وهكذا، فإذا حركنا اناء معلقاً على حبل، حركة دائرية متواصلة إلى أن يصبح الحبل ملتوياً، ثم ملأنا الإناء ماء، وتركناه حتى يسكن تماماً هو والماء الذي فيه، ثم أرخينا الحبل وتركناه يعود إلى حالته الطبيعية، فإن الإناء سيكتسب، بهذه الطريقة، حركة دائرية تدوم طويلاً. وعند بداية حركة الإناء هذه نلاحظ أن الماء يظل هادئاً وأن سطحه يبقى مستوياً، تماماً كما كان قبل ارخاء الحبل المفتول. ولكن لن تمر سوى لحظة قصيرة حتى نلاحظ أن حركة الاناء تنتقل شيئاً فشيئاً إلى الماء الذي فيه. وهكذا يأخذ الماء في الدوران مع الإناء، وبدورانه هذا يأخذ في الارتفاع على حاشية الاناء وكأنه يحاول الانفلات إلى الخارج، الشيء الذي يجعل وسطه ينخفض فيصبح شكل الماء مقعراً، وهذا شيء لاحظته بنفسي. ثم تزداد حركة الماء ويزداد ارتفاعه على حاشية الاناء، ويستمر كذلك إلى أن تصبح دورات الماء مساوية تماماً لدورات الاناء، وحينئذ يكون الماء، بالنسبة إلى الإناء، في حالة سكون نسبي. إن ارتفاع الماء حول حاشية الاناء يدل على وجود جهد يبذله الماء لكي يتمكن من الابتعاد عن مركز حركته. ويمكن أن نقيس، بواسطة هذا الجهد، الحركة الدائرية الحقيقية المطلقة التي لهذا الاناء، تلك الحركة التي هي مناقضة تماماً لحركته النسبية. ذلك لأن، في البداية، عندما كانت الحركة النسبية للماء أكبر، لم يكن هذا الماء يندفع ليبتعد عن محور حركته، ولم يكن يرتفع على حاشية الاناء، بل لقد ظل مستوياً هادئاً، وبالتالي لم تكن له بعد أية حركة دائرية حقيقية ومطلقة. ولكن عندما أخذت حركة الماء في النقصان، بدأ يرتفع نحو حاشية الاناء، مما يدل على ذلك الجهد الذي يبذله قصد الابتعاد عن محور حركته. إن هذا الجهد الذي يأخذ في الزيادة يدل بدوره على ازدياد حركة الماء، حركته الدائرية الحقيقية. وأخيراً فإن هذه الحركة الدائرية الحقيقية تبلغ أقصاها عندما يكون الماء في حالة سكون نسبي داخل الاناء. إن الجهد الذي يبذله الماء قصد الابتعاد عن محور حركته لا يتوقف إذن على حركته بالنسبة إلى ما يحيط به من الأجسام، وبالتالي فإن الحركة الدائرية الحقيقية لا يمكن تحديدها وضبطها بواسطة الحركة النسبية تلك».

٢ ـ الحتمية الكونية[1]

لابلاس

يعكس هذا النص، وهو مشهور جداً، الاعتقاد الراسخ في الحتمية الذي كان يوجه أقطاب الفيزياء الكلاسيكية. ولابلاس Pierre-Simon de Laplace (١٧٤٩ ـ ١٨٢٧) صاحب هذا النص يعتبر من أقوى وأعنف دعاة الحتمية، التي يجعلها تشمل الظواهر الطبيعية كلها صغيرها وكبيرها، ولذلك وصفت حتميته بـ «الحتمية الكونية». لقد ألف لابلاس كتابه المشهور الميكانيكا السماوية وعرض فيه النظام الكوني النيوتوني عرضاً أكثر تنقيباً وكمالاً، فجمع فيه كما يقول بلانشي بين صلابة العلم النيوتوني وغزارة العلم الديكارتي. لقد أدرجنا هذا النص، ليس فقط لقيمته التاريخية، بل أيضاً لأن المناقشات التي سنطلع عليها في النصوص المقبلة حول موضوع الحتمية لا تفهم إلاّ في ضوء التصور الكلاسيكي للحتمية، وهو التصور الذي يعبر عنه هذا النص أقوى تعبير.

«إن جميع الحوادث، حتى تلك التي تبدو، لصغرها، مستعصية على القوانين الطبيعية العامة، هي نتيجة ضرورية لهذه القوانين، مثلها في ذلك مثل حركات الشمس. غير أن جهلنا للروابط التي تشدها إلى النظام الكوني العام، قد جعلنا نعزوها إلى أسباب غائية أو إلى الصدفة، حسب ما تكون تلك الحوادث متتابعة بانتظام، أو جارية بدون نظام ظاهري، ولقد أدى نمو معارفنا إلى استبعاد هذه الأسباب الخيالية، تدريجياً، وهي تختفي الآن كلياً أمام الفلسفة الصحيحة التي لا ترى فيها إلاّ تعبيراً عن جهل، نحن المسؤولون الحقيقيون عنه.

إن الحوادث الراهنة لها مع الحوادث الماضية رابطة مؤسسة على المبدأ الواضح التالي، وهو أنه لا شيء يبدأ في الوقوع دون سبب. وإن هذه البديهية المعروفة بمبدأ السبب الكافي (= الحتمية) ينسحب مفعولها حتى على الأفعال التي نعتبرها أفعالاً ارادية حرة، والواقع أن أكثر الارادات حرية لا يمكن أن تخلق هذه الأفعال إلاّ إذا كان هناك حافز محدد. ذلك لأنه إذا

(١) Pierre Simon Laplace, Essai philosophique sur les probabilités, présentés comme introduction à la 2ème éd. (1814), dans: *Théorie analytique des probabilités*, œuvres (Paris: Gauthier-Villars, 1886), vol. VII, I, pp. VI-VII, et Robert Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, collection U$_2$; 46 (Paris: Armand Colin, 1969), pp. 144-145.

تشابهت جميع الظروف بالنسبة إلى موقفين معينين، وكانت تلك الارادة الحرة تمارس فعلها في أحدهما دون الآخر، فإن اختيارها هذا سيكون نتيجة لا سبب لها وحينئذ نصبح، كما قال ليبنز، أمام تلك الصدفة العمياء التي قال بها الابيقوريون. إن الرأي المخالف يعكس وهماً من أوهام الفكر الذي يعتقد، أمام عجزه عن رؤية الأسباب الخفية التي تدفع الارادة إلى الاختيار بين الأشياء المتماثلة، أن هذه الارادة قد حددت نفسها بنفسها ودونما حافز.

يجب أن ننظر، إذن، إلى الحالة الراهنة للكون كنتيجة لحالته السابقة وكسبب لحالته اللاحقة. فلو أن عقلاً يمكنه أن يعرف، في لحظة من اللحظات، جميع القوى التي تحرك الطبيعة، وكل الأوضاع المتتالية التي تتخذها فيها الكائنات التي تتألف منها ـ أي الطبيعة ـ، ولو أن هذا العقل نفسه هو من الاتساع والشمول بحيث يمكنه أن يخضع هذه المعطيات للتحليل، فإنه سيكون قادراً على أن يضم في عبارة رياضية واحدة حركات أكبر الأجسام في الكون وحركات أصغر وأدق الذرات، فلا شيء يكون بالنسبة إلى هذا العقل موضوع شك، إن الماضي والمستقبل سيكونان، كلاهما، حاضرين أمام عينيه. والفكر البشري يمكنه، بالنظر إلى التقدم الذي حصل عليه في ميدان الفلك، أن يعدنا بصورة تخطيطية باهتة عن هذا العقل. إن الاكتشافات التي توصل إليها الفكر البشري في الميكانيك والهندسة، بالاضافة إلى تلك التي قام بها في ميدان الجاذبية الكونية، قد مكّنته أن يضمّن نفس العبارات التحليلية (الرياضية) أحوال نظام الكون، الماضية منها والمقبلة. وبتطبيق نفس المنهج على بعض الموضوعات الأخرى التي تدخل في مجال معرفته، قد توصل إلى ارجاع الظواهر الملاحظة إلى قوانين عامة، وإلى توقع الظواهر التي ستنجم حتماً عن الظروف القائمة. ولا شك أن جميع هذه المجهودات التي يبذلها الفكر البشري في البحث عن الحقيقة ستجعله يقترب شيئاً فشيئاً، وباستمرار، من هذا العقل الذي تخيلناه، والذي سيظل دوماً، مع ذلك، بعيد المنال».

٣ ـ الصَّدفة[١]

كورنـو

سادت النزعة الميكانيكية اليونـونية في القرن الثامن عشر والنصف الأول من القـرن التاسع عشر وتردد صداها حتى في العلوم الانسـانية التي لا تقبـل التحديـد الحتمي، فنشأت نزعات ميكـانيكية في علم الاجتماع وعلم النفس وأصبح كثير من العلماء والفلاسفة يفسرون الحوادث التي تقع صدفة بكونها نتيجة أسباب نجهلها. ومن هنا اكتسـت الصـدفة طابعاً ذاتياً وأصبحت مرتبطة بحالة الانسـان من العلم والجهل. وقد عبر لابلاس عن هذا أقوى تعبير ـ كما رأينا ـ عندما تخيّل عقلاً يفوق عقل البشر يستطيع الإحاطة بجميع الأسباب والظواهر ومن ثمة يستطيع التنبؤ بما سيكون عليه الكون كله. إن هذا يعني أن الصـدفة ستصبح منعدمة بالنسبة إلى هذا العقل المحيط. ولقـد كان العـالم الرياضي والفيلسوف الفرنسي كورنـو (١٨٠١ ـ ١٨٧٧) على رأس البـاحثين الـذين أعطوا للصدفة معنى موضـوعياً غير متعلق بدرجة علم الانسـان أو جهله، فـاتحاً الطريق بذلك لحسـاب الاحتمالات والاحصاء. إن كورنو يرى أن للصـدفة وجوداً مـوضـوعيـاً، فهي نتيجة تـلاقي سلاسـل مستقلة من الأسبـاب، وليست ناتجة عن جهل الانسـان ولا هي مناقضة لمبدأ السببية، بل إنها مظهر من مظاهر مبـدأ السببية ذاته، نجده في الحوادث المادية والظواهر البشرية. وبـذلك يكـون كورنـو قد خفّف من جمود الفهم الميكانيكي للحتمية، في نفس الوقت الذي أرجع فيه الصـدفة إلى نوع من السببية.

وما من ظاهرة، أو حادث يحدث إلاّ وله سبب. ذلك هو المبـدأ الموجّه للعقل البشري والمنظّم لعملياته خلال البحث في الحـوادث الواقعيـة. قد يحـدث أحيانـاً أن يغيب عنا سبب الظاهرة، أو أن نتخذ سببـاً ما ليس بسبب، ولكن، لا عجزنـا عن تطبيق مبـدأ السببية، ولا الأخطاء التي نقع فيها عند تطبيقه بقادرين على زعزعة إيمـاننا بهـذا المبدأ الـذي نعتبره قـاعدة مطلقة وضرورية.

إننا نرجع القهقرى من النتيجة إلى سببها المباشر، ثم نعتبر هـذا السبب بدوره نتيجـة لسبب آخر، وهكذا دواليك، دون أن نتصـور أذهاننا وجـود ما يـوقف هذا القـانون، قـانون التراجع مع نظام الحوادث. فما نعتـبره في اللحظة الـراهنة نتيجـة يمكن أن يصبح دوره سببـاً

(١) Antoine August Cornot, *Exposition de la théorie des chances et des probabilités* (Paris: Hachette, 1843).

لنتيجة لاحقة، وهكذا إلى ما لا نهاية له. إن هـذه السلسلة اللانهائية من الأسباب والنتائج المترابطة في سياق الزمن، السلسلة التي تشكل الظاهرة الراهنة حلقة من حلقاتها، هي عبارة عن متسلسلة خطية[٢]. ويمكن أن تتواجد في وقت واحد سلاسل من هذا النوع، لا نهائية العدد، تمتد مع سياق الزمن، أو تتقاطع بشكل يجعل من ظاهرة واحدة بعينها، تضافرت على حدوثها عدة ظواهر، نتيجة لمجموعة متمايزة من سلاسل الأسباب المولدة (= الفاعلة)، أو سبباً تتولد عنه بدوره سلاسل من النتائج عديدة، تبقى متمايزة ومفصولة تماماً عن بعضها بعضاً، بعيداً عن منطلقها الأول.

يمكن أن نكوّن لأنفسنا فكرة بسيطة عن تقاطع هذه السلاسل وعن استقلال بعضها عن بعض، بالنظر إلى ترابط الأجيال البشرية. فالشخص الواحد يرتبط، عن طريق أبيه وأمه، بسلسلتين من الأصول تتفرعان عند كل جيل. ويمكن لهذا الشخص أن يصبح بدوره أصلاً أو مصدراً مشتركاً للعديد من سلاسل النسب تبقى متمايزة منفصلة عن بعضها ابتداء من هذا الأصل المشترك، أو تتقاطع عرضاً بفعل الترابطات العائلية. قد يحدث أن تترابط عدة حزمات من فروع هذه السلاسل في فترة زمنية قصيرة، ولكن حزمات أخرى، أكثر عدداً، من فروع نفس السلاسل، تتوزع جانبياً وتبقى متمايزة تماماً ومعزولة بعضها عن بعض. وإذا اعتقد أفرادها في أصل مشترك، فإن أصالة هذا الأصل ستكون غير علمية بصعب، إن لم يكن يستحيل، اثباتها بشهادات تاريخية.

وإذا كان الجيل البشري الواحد لا يمكن أن ينقسم، من جهة الأصول، إلاّ قسمة ثنائية، فإنه من الممكن تصور وجود تفريعات عديدة، سواء من جهة الأصول أو من جهة الفروع، عندما يتعلق الأمر بعلل ومعلولات غير محددة. وحينئذ سنكون أمام ظاهرة يمكن اعتبارها نتيجة لعدد كبير من الأسباب المختلفة. ويظهر أن هذا هو ما يحدث فعلاً. فهو ينسجم تماماً مع النظام العام السائد في الطبيعة، النظام الذي هو عبارة عن سياق ينتقل، في معظم الحالات، من الانفصال إلى الاتصال، مما ينتج عنه تزايد عدد الأسباب المتشابكة تزايداً لانهائياً. وفي هذه الحالة تصبح السلاسل، تلك المتشابكة المترابطة التي تتصور المخيلة بواسطتها تسلسل الظواهر مع سياق الزمن، وهي في هذا أشبه بحزمات من الأشعة الضوئية، تصبح عبارة عن كتل متداخلة تنبسط وتنقبض، دون أن يكون في الامكان تبيّن الانفصال في نسيجها العام.

وسواء نظرنا إلى الأسباب المولدة لظاهرة ما كأسباب متناهية، أو اعتبرناها أسباباً لانهائية العدد، فإن الاعتقاد السائد بين الناس هو أن هناك سلاسل من الظواهر المترابطة أو المتمايزة، وسلاسل تنمو متوازية متتابعة دون أن يكون بينها ما يربط بعضها ببعض أو يجعل بعضها يتوقف على بعض. صحيح أن بعض الفلاسفة قالوا إن كل شيء في العالم مترابط ومتلاحم، مبرهنين على ذلك بطريقتهم الخاصة، أو بحجج ذكية، أو بتصورات خيالية

---

(٢) يستعمل المؤلف عبارة متسلسلة خطية Série Linéaire، وهي مصطلح رياضي يفيد التسلسل إلى ما لانهاية (= الاتصال). وسنستعمل هنا كلمة «متسلسلة» وأحياناً كلمة «سلسلة» توخياً لسهولة التعبير.

مضحكة. ولكن لا براعة أدلتهم، ولا سخافة حججهم يمكن أن تقنع الرأي العام أو تشككه في معتقده. فلا أحد يفكر جدياً في أنه إذا ضرب الأرض برجله أدّى إلى إزعاج الملاح الذي يسافر على سفينة على الطرف الآخر من الكرة الأرضية، أو إلى احداث خلل في نظام حركة أقمار المشتري. وإذا قبلنا من الناحية النظرية بإمكانية حدوث مثل هذا الخلل أو ذاك الإزعاج، بفعل أسباب مثل التي ذكرنا، فإنه لا بد من التسليم بأننا لا نستطيع قط ملاحظة ذلك، وبأننا لا نمتلك أية وسيلة تمكننا من تتبع آثاره على الظواهر. وبعبارة أخرى، إن هذا الترابط المزعوم، بين أجزاء العالم، لا يقدم لنا عن نفسه أية اشارة حسية، فهو بالنسبة إلى نظام الحوادث القابلة للملاحظة من قبيل ما لا وجود له.

إن الحوادث الناتجة عن تداخل أو تلاقي ظواهر تنتسب إلى سلاسل مستقلة، في نظام السببية، هي ما نسميه بالحوادث العرضية أو بنتائج الصدفة.

لنوضح هذا بأمثلة: لنفرض أن أخوين شقيقين يعملان في فرقة عسكرية واحدة لقيا حتفهما معاً في إحدى المعارك، فعندما ننظر إلى رابطة الاخوة التي تجمعهما وإلى المصيبة التي حلت بهما يبدو لنا الأمر غريباً جداً. ولكن عندما نفكر في المسألة بعمق يتضح لنا أن انتماءهما إلى نفس الفرقة العسكرية ووفاتهما في نفس المعركة ليس من الضروري أن يكونا مستقلين أحدهما عن الآخر، وأن الصدفة ليست وحدها التي أدت بهما إلى ذلك المصير المفجع. ذلك لأنه من الجائز أن يكون الأخ الأصغر قد التحق بالجندية اقتداء بأخيه الأكبر، وبالتالي يصبح من الطبيعي تماماً أن يعمل على الالتحاق بالفرقة التي ينتمي إليها هذا الأخير، مما سيجعلهما معرضين لنفس الأخطار ويسمح لكل منهما بالمسارعة إلى نجدة الآخر. وإذا حدث أن واجهها معاً خطراً ماحقاً فليس غريباً أن يلاقيا حتفهما معاً. وقد يكون لأسباب أخرى، لا علاقة لها بكونهما أخوين، دور في هذا الحادث، ولكن الاقتران بين كونهما أخوين، وكونهما لقيا حتفهما معاً، ليس راجعاً إلى محض الصدفة.

لنفرض الآن أن هذين الأخوين ينتميان إلى جيشين، أحدهما يقاتل في الجبهة الشمالية والثاني يقاتل في سهول جبال الألب (= الجبهة الجنوبية)، وأن معركة نشبت في نفس اليوم، في الواجهتين معاً، وأنهما لقيا حتفهما في نفس اليوم كذلك، كل في الجبهة التي يعمل فيها. وفي هذه الحالة يكون من المعقول اعتبار وفاتهما معاً، في نفس اليوم، راجعاً إلى محض الصدفة، ذلك لأن العمليات الحربية في الجبهة الشمالية ونفس العمليات في الجبهة الجنوبية تشكلان، نظراً لبعد المسافة، سلسلتين، تشتركان فعلاً في نقطة الانطلاق لكونهما تخضعان معاً لأوامر مركز القيادة العسكرية، ولكنهما تسيران بعد ذلك في استقلال كامل عن بعضهما بعضاً نظراً لضرورة التكيف مع المعطيات المحلية الخاصة بكل جبهة. وهنا ستكون الظروف التي أدت إلى نشوب القتال على الجبهة الأولى لا علاقة لها بالظروف التي أدّت إلى اشتعال الحرب في الجبهة الثانية، على الرغم من أن المعركتين نشبتا في نفس اليوم. وهكذا فإذا دخلت الفرقتان في المعركة في اليوم نفسه، وكان عدد القتلى فيها كبيراً، فإن مقتل الأخوين، كل في فرقته، لن تكون له أية صلة بكونهما أخوين شقيقين.

يجب أن لا ننسب مثل هذه الحوادث إلى الصدفة، فقط لكونها نادرة وغريبة. بل بالعكس، فكون الصدفة هي التي أدّت إلى حدوثها وحدها، دون حوادث أخرى يمكن أن تتسبب فيها ملابسات مماثلة، هو ما يجعل منها حوادث نادرة، وكونها حوادث نادرة هو ما يجعلها تبدو لنا غريبة. فعندما يمد رجل معصّب العينين يده إلى صندوق يشتمل على نفس العدد من الكرات البيضاء والكرات السوداء، فإن امساكه بكرة بيضاء لا يكتسي في نظرنا أية غرابة ولا أية ندرة، تماماً كما لو أنه أمسك بكرة سوداء. ومع ذلك فإن إمساكه بهذه الكرة أو تلك هو بحق، من عمل الصدفة. ذلك لأنه ليس ثمة في الظاهر أية رابطة بين الأسباب التي أدت إلى وقوع يد الرجل على كرة معينة والأسباب التي جعلت هذه الكرة بيضاء أو سوداء.

نعم، لقد اعتدنا، في لغتنا العادية، استعمال كلمة صدفة بالنسبة إلى الحوادث التي تأتي نتيجة ملابسات نادرة ومثيرة للاستغراب. فإذا أخرج الرجل المذكور من الصندوق كرة بيضاء أربع مرات متوالية قلنا إن ذلك راجع إلى صدفة كبيرة، الشيء الذي لا نقوله عندما يخرج كرتين بيضاوين ثم كرتين سوداوين، وبالأحرى، عندما تتتابع الكرات البيضاء والسوداء بانتظام أقل، مع أن هناك في جميع هذه الأحوال، استقلالاً كاملاً بين الأسباب التي وجهت يد الرجل والأسباب التي منحت الكرات لونها. إننا ننتبه إلى الصدفة التي قتلت الأخوين في يوم واحد، ولا ننتبه، أو ننتبه بدرجة أقل، إلى الصدفة التي أودت بحياة أحدهما قبل الآخر بفاصل زمني مقداره شهر أو ثلاثة أشهر أو ستة أشهر، على الرغم من عدم وجود أية رابطة بين الأسباب التي أدت إلى مقتل الأخ الأكبر في يوم معين، والأسباب التي أدت إلى مقتل الأخ الأصغر في يوم آخر، ولا بين هذه الأسباب وبين رابطة الاخوة التي تجمعهما. وعندما يمد العامل الذي يشتغل في مطبعة تستعمل الحروف اليدوية المنقوشة على قطع حديدية، يده إلى صندوق تتراكم فيه، بلا نظام، هذه الحروف فيخرج لنا بكيفية عشوائية مجموعات من الحروف، فإننا لا ننتبه إلى المجموعات التي لا تشكل صوتاً قابلاً للنطق ولا كلمة من كلمات لغة معروفة، على الرغم من أنه ليس ثمة أية رابطة بين الأسباب التي وجهت يده بالتتابع نحو هذه القطعة أو تلك وبين الأسباب التي جعلت هذه القطع تحمل هذا الحرف أو ذاك. إن هذا الفرق الغامض المبهم الذي تستعمل به كلمة صدفة في الحياة اليومية يجب استبعاده تماماً عندما نتحدث بلغة من خصائصها الدقة في التعبير، لغة العلم والفلسفة، انه لا بد، كي يحصل التفاهم، من الاهتمام بدرجة خاصة بما هو أساسي وجوهري في مفهوم الصدفة، أي الاهتمام بفكرة الاستقلال، أو عدم الترابط والتداخل بين مختلف سلاسل الحوادث أو الأسباب.

وفي هذا الصدد، كثيراً ما يستشهد بفكرة هيوم القائلة: «ليس ثمة صدفة بمعنى الكلمة، ولكن هناك ما يكافئها، أي ما نحن فيه من جهل بالأسباب الحقيقية للحوادث». كما أن لابلاس نفسه ينطلق في كتابه من المبدأ التالي: «إن الاحتمال نسبي، يرجع في جزء منه إلى ما لدينا من معلومات، وفي جزء آخر إلى ما نحن فيه من جهل»، ومن هنا يخلص إلى القول: إنه بالنسبة إلى عقل سام يستطيع تبين جميع الأسباب وتتبع جميع النتائج التي تلزم

عنها، لن يكون هناك علم خاص بدراسة الاحتمالات، لأن مثل هذا العلم سيكون بالنسبة إليه غير ذي موضوع.

مثل هذه الأفكار أفكار غير صائبة. نعم إن كلمة صدفة لا تدل على شيء يتمتع بوجود انطلوجي، فهي ليست جوهراً، بل هي فكرة تدل على الائتلاف والتراكب بين منظومات عديدة، من الأسباب والحوادث، يتطور كل منها في سلسلته الخاصة به وينمو فيها باستقلال عن الباقي، والعقل السامي الذي تخيّله لابلاس لن يختلف عن عقل الانسان إلاّ في كونه أقل تعرضاً للخطأ، أي في كونه لا يخطىء أبداً في تطبيق هذا المعطى العقلي. فهو لن يقع في الخطأ الناجم عن النظر إلى السلاسل التي يؤثر بعضها في بعض وفق قانون السببية كسلاسل مستقلة، ولن ينسب الاستقلال إلى الأسباب التي ليست في الواقع مستقلة. إنه سيحسب بيقين أكبر، ولربما بدقة تامة، نصيب الصدفة في تطور الظواهر المتابعة ونموها. إنه سيتبين، مسبقاً، النتائج الراجعة إلى تضافر الأسباب المستقلة، الشيء الذي نعجز نحن عن القيام به في الغالب.

لنفرض مثلاً أن مكعباً من مكعبات لعبة النرد، ذا بنية غير منتظمة تلقي به على الطاولة قوى عديدة في شدتها واتجاهها ونقطة تأثيرها لدى كل مرة، بأسباب مستقلة عن الأسباب التي تفعل بها في المرات الأخرى، إن هذا العقل السامي الذي قال به لابلاس سيعرف ما لا نعرفه نحن، سيعرف ماذا ستكون عليه، على وجه التقريب، العلاقة بين عدد المرات التي تسفر عن سطح معين من هذا المكعب، وبين مجموع المحاولات، وسيكون علمه بذلك أكيداً، عندما يكون على بينة تامة من القوى التي تؤثر وعندما يتمكّن من حساب نتائج هذه القوى في كل محاولة من محاولات اللعب، وبالأحرى عندما يكون علمه أوسع من ذلك. وبكلمة واحدة سيكون هذا العقل أقدر منا على معالجة وتطبيق جميع العلاقات الرياضية المتعلقة بالصدفة وعلى أن يجعل منها قوانين لنظام الحوادث في الطبيعة.

في هذا الاطار يكون من الصحيح القول ـ وهذا ما قيل مراراً أيضاً ـ بأن الصدفة تحكم العالم، أو على الأصح، لها نصيب، ونصيب مهم في تدبير العالم. وهذا لا يعني بوجه من الوجوه استبعاد فكرة وجود تدخل علوي إلهي، سواء اعتبرنا هذا التدخل الإلهي لا يتناول إلاّ النتائج العامة والمتوسطة، التي تضبطها قوانين الصدفة، أو كان يتناول التفاصيل والجزئيات بشكل يتسق مع رؤى تتجاوز علومنا ونظرياتنا.

أما إذا بقينا في مستوى الأسباب الثانوية والحوادث الطبيعية التي تشكل الميدان الخاص بالعلم، فإن النظرية الرياضية للصدفة تبدو لنا كتطبيق واسع جداً لعلم الأعداد، وبالتالي كتبرير ناجع للحكمة القائلة: «العالم تحكمه الأعداد». والواقع أنه على الرغم مما قد يكون للفلاسفة من آراء في هذا الصدد، فلا شيء يسمح بالاعتقاد بأن جميع الظواهر يمكن الرجوع بها إلى مفاهيم الامتداد والزمان والحركة، وبكلمة واحدة، إلى المقادير المتصلة القابلة للقياس التي هي موضوع الهندسة. إن أعمال الكائنات الحية، أعمالها العقلية والخلقية لا يمكن تفسيرها في اطار معارفنا الراهنة. ويمكن أن نتجرأ فنصرح أنها لن تقبل التفسير بميكانيكا

علماء الهندسة. إنها لا تنتمي إلى الجانب الهندسي والميكانيكي في ميدان الأعداد. إنها تقف جنباً إلى جنب، في هذا الميدان نفسه، لتحتل نفس الموقع الذي يحتله مفهوم تراكب السلاسل ومفهوم الحظ، مفهوم السبب ومفهوم الصدفة، هذان المفهومان اللذان يتجاوزان على صعيد التجريد، مستوى الهندسة والميكانيكا، واللذان يطبقان على ظواهر الطبيعة الحية، ظواهر العالم العقلي والعالم الأخلاقي، كما يطبقان على الظواهر الناجمة عن حركة المادة الجامدة».

٤ ـ فيزياء الذرة وقانون السببية[١]

هايزنبرغ

يعتبر ويرنر هايزنبرغ صاحب علاقات الارتياب من أقطاب مدرسة كوبنهاغن التي كان يتزعمها بور، والتي نادت باللاحتمية ذاهبة في ذلك مذهباً وضعياً متطرفاً. وفي هذا النص الذي يعالج فيه هايزنبرغ تطور مفهوم السببية منذ القديم إلى اليوم يحاول أن يجد في تاريخ العلم ما يؤكد وجهة نظر مدرسة كوبنهاغن الوضعية التي ترفض الحتمية وتقول بالطابع الاحصائي للقوانين العلمية مع اعطائه مفهوم اللاتحدد. وتلك وجهة نظر يرفضها كثير من العلماء وعلى رأسهم اينشتين ولوي دوبروي وغيرهما، كما سنرى في النصوص المقبلة. على أن الذي يثير الاستغراب حقاً هو تأكيد هايزنبرغ في آخر النص على استحالة توصل العلم في المستقبل إلى «انقاذ» مبدأ الحتمية، وهذا تأكيد، بل مجازفة، لا ينسجم مع الروح العلمية.

«من أهم النتائج العامة التي أسفرت عنها الفيزياء الذرية الحديثة تلك التعديلات التي تعرض لها مفهوم القانون الطبيعي.

لقد درج الناس على القول، خلال السنين الأخيرة، أن العلم الذري قد أبطل مبدأ السببية، أو على الأقل، أفقده قسطاً من سلطته وذلك إلى درجة أنه لم يعد من الممكن الحديث عن ضبط عمليات الطبيعة، بالمعنى الدقيق لكلمة ضبط، بواسطة قوانين. وأحياناً يقال فقط إن مبدأ السببية لا يسري مفعوله إلى علم الذرة الحديث. إن أقوالاً كهذه ستظل غامضة ما دام مفهوم السببية ومفهوم القانون غير واضحين بصورة كافية. ولذلك ارتأيت أن أتناول باختصار، في ما يلي، تاريخ هذين المفهومين ومراحل تطورهما، لأنصرف بعد ذلك إلى تبيان العلاقة التي كانت قائمة بين العلم الذري وقانون السببية قبل قيام نظرية الكوانتا. وأخيراً سأتحدث عن نتائج نظرية الكوانتا، وعن تقدم العلم الذري في السنوات الأخيرة، وهو تقدم غير معروف لدى الجمهور بدرجة كافية، ويظهر بالخصوص أنه ستكون له أصداء ونتائج في ميدان الفلسفة.

---

(١) Werner Heisenberg, *La Nature dans la physique contemporaine*, traduit de l'allemand par Ugné Karvelis et A.E. Leroy, idées (Paris, Gallimard, °1962), pp. 37-58.

أولاً: مفهوم «السببية»

إذا نظرنا إلى المسألة من الوجهة التاريخية فإننا سنجد أن المطابقة بين مفهوم السببية وبين القاعدة التي تقول لكل نتيجة سبب، شيء حديث نسبياً. فكلمة Causa (علة) في الفلسفة القديمة كانت ذات دلالة أوسع جداً من دلالتها الحالية. فالفلسفة المدرسية ـ فلسفة القرون الوسطى ـ كانت تتحدث، استناداً إلى أرسطو، عن أربعة أشكال من «العلة»: العلة الصورية Causa formalis التي يعبر عنها حالياً بالبنية أو المحتوى المفهومي للشيء، والعلة المادية Causa materialis أي المادة التي منها يتكوّن الشيء، والعلّة الغائية Causa finalis التي هي الغاية من الشيء، وأخيراً العلة الفاعلة Causa efficiens وهذه الأخيرة، أي العلة الفاعلة، هي وحدها التي تعادل، تقريباً، ما نعنيه اليوم بكلمة سبب.

إن تحول مفهوم العلة القديم، إلى المفهوم الحالي للسبب، قد جرى عبر القرون بارتباط داخلي مع التحول الذي تعرض له مفهوم الواقع ـ أو الوجود الواقعي ـ كما كان يتصوره الناس قديماً، وبارتباط كذلك مع نشوء علم الطبيعة في بداية العصر الحديث. وعندما أخذ مفهوم الوجود الواقعي يعني، أكثر فأكثر، العمليات المادية التي تتمّ في الطبيعة، أخذ مفهوم العلة بدوره ينطبق على تلك العمليات المادية الخاصة التي تسبق الحادث الذي يراد تفسيره، والتي تتسبب في حدوثه، بشكل من الأشكال. ولذلك نجد «كانت» الذي عمد في مواضع كثيرة إلى استخلاص النتائج من تقدم علوم الطبيعة منذ نيوتن، يستعمل كلمة السببية في المعنى الاصطلاحي الذي كان شائعاً في القرن التاسع عشر: «عندما نعلم بحدوث شيء، فإننا نفترض دوماً أن شيئاً آخر قد سبقه، وأنه جاء نتيجة له حسب قاعدة معينة». بهذه الصورة تحدّدت صيغة مفهوم السببية، وأصبح هذا المفهوم يعني في نهاية الأمر انتظار حصول حادث في الطبيعة بصورة محددة، وبالتالي أصبحت المعرفة الدقيقة بالطبيعة، أو جزء منها، تكفي، من الناحية المبدئية على الأقل، لتوقع ما سيحصل في المستقبل. وهكذا كانت فيزياء نيوتن قائمة على التصور التالي، وهو أنه من الممكن ضبط حركة منظومة ما مسبقاً إذا عرفت حالة[٢] هذه المنظومة في لحظة معينة. لقد اعتبر هذا المبدأ طبيعياً، وقد صاغه لابلاس بصورة عامة جداً، واضحة جداً. لقد أوحى له خياله بشيطان مارد يستطيع، إذا عرف في لحظة معينة موقع وحركة جميع الذرات (التي في الكون)، أن يقوم بعملية حسابية يرسم بواسطتها قبلياً، كل مستقبل الكون. أما إذا نظرنا إلى مفهوم السببية بمعناها الضيق، فإننا نجد أن المقصود منها هو «الحتمية»، أي وجود قوانين طبيعية ثابتة تحدّد بشكل دقيق وصارم ما ستكون عليه حالة منظومة ما في المستقبل، بناء على حالتها الراهنة.

---

(٢) حالة منظومة ما، هي القيم التي تحدد موقعها وكمية حركتها. (المترجم).

ثانياً: القوانين الاحصائية

لقد عمل العلم الذري منذ بداية نشأته على صياغة وتطوير مفاهيم لا تتفق، والحق يقال، مع هذه الصورة التي رسمناها عن مبدأ السببية. ولكن هذا لا يعني أن هذه المفاهيم الجديدة تناقض الأسس التي قامت عليها تلك الصورة. فكل ما في الأمر هو أن طريقة التفكير الخاصة بالعلم الذي كان شائعاً، لا بد أن تتميز منذ البداية، عن أسلوب التفكير الذي تقوم عليه الحتمية. فلقد سبق للمذهب الذري القديم الذي نادى به ديمقريطس ولوسيب Leucippe أن اعتبر العمليات التي تجري على مستوى الأشياء الكبيرة كنتيجة للعديد من العمليات والتحوّلات اللامنتظمة التي تجري على مستوى الجسيمات الدقيقة. هناك حوادث كثيرة نشاهدها في الحياة اليومية، تؤكد كلها هذا المبدأ. إن ما يلفت انتباه الفلاح هو أن سحابة ما قد انهمرت مطراً وسقت الأرض، أما الكيفية التي نزلت بها كل قطرة من المطر، فذلك ما لم يكن أحد في حاجة إلى معرفته. لنأخذ مثالاً آخر: إن الجميع يفهم ماذا تعنيه كلمة صوّان (غرانيت Granit) على الرغم من أن الناس لا يعرفون بالضبط شكل بلوراته ولا تركيبها الكيميائي ولا نسبها داخل هذا المركب الذي هو الصوان. هكذا إذن، نستعمل باستمرار مفاهيم لها علاقة بسلوك الظواهر على مستوى الأشياء الكبيرة، دون أن نهتم بالعمليات والحوادث المعزولة (أو الفردية) على المستوى الجسيمي.

لقد سبق لعلم الذرة القديم أن بنى تفسيره للكون على أساس فكرة الترابط الاحصائي بين العديد من العمليات الصغيرة المعزولة، فعمم هذه الفكرة وقدم لنا صورة عن العالم، قوامها أن جميع الكيفيات الحسية التي للمادة، يرجع السبب فيها، بكيفية غير مباشرة، إلى وضعية الذرات وحركتها. يقول ديمقريطس: «لا يكون الشيء حلواً أو مراً إلا في الظاهر. أما في الواقع فلا وجود لشيء آخر غير الذرات والخلاء» فإذا فسرنا هكذا الظواهر المحسوسة بواسطة تضافر العديد من العمليات الصغيرة المعزولة نتج من ذلك ضرورة، أننا نعتبر قوانين الطبيعة احصائية لا غير. والحق أن هناك قوانين احصائية يمكن أن تؤدي إلى تأكيدات ذات درجة احتمالية عالية تساوي، تقريباً، درجة اليقين. غير أن هناك استثناءات لهذا المبدأ. على أن مفهوم القانون الاحصائي كثيراً ما يبدو متناقضاً، فهو يعني، من جهة، أنه من الممكن النظر إلى العمليات الطبيعية كعمليات محدّدة بقوانين، ويعني من جهة أخرى أن هذه العمليات تجري بدون أدنى نظام وأن القوانين الاحصائية لا تمثل شيئاً. وعلى الرغم من هذا يجب أن لا ننسى أننا، في حياتنا اليومية، لا نخطو خطوة واحدة دون أن تصادف قوانين احصائية تبنى عليها أنشطتنا العملية. فعندما يشيّد التقني محطة مائية (سد مثلاً) فإنه يأخذ في حسبانه كمية متوسطة من مياه المطر، على الرغم من أنه لا يستطيع أن يتوقع متى سينزل المطر، ولا كمية الماء التي سيخلفها.

تدل القوانين الاحصائية عادة على أننا لا نعرف المنظومة موضوع الدرس إلاّ بشكل ناقص. وأشهر مثال على ذلك هو لعبة النرد. فبما أن سطوح لعبة النرد متماثلة لا يتميز أي منها عن الباقي، وبما أننا لا نستطيع، بأي وجه من الوجوه، التنبؤ بالسطح الذي سيسقط

عليه المكعب الصغير، فبإمكاننا أن نفترض أن الدورة السادسة من دورات اللعب المكوّنة من عدد كبير من المحاولات، هي وحدها التي سيظهر فيها السطح الذي عليه خمس نقط.

لقد جرت، منذ بداية العصر الحديث، محاولات ترمي إلى تفسير حركة المادة، من الناحيتين الكيفية والكمية معاً، بواسطة السلوك الاحصائي لذراتها. وهكذا أدلى روبير بويل[3] بفكرة مؤداها أنه من الممكن فهم العلاقات التي تقوم بين حجم الغاز ودرجة ضغطه بمجرد ما نفسر هذا الضغط بكونه ناتجاً من اصطدام ذرات ذلك الغاز بجوانب الاناء الذي يحتويه، وبطريقة مماثلة، فسرت ظواهر الديناميةِ الحرارية Thermodynamique بكون الذرات تتحرك حركة أشد وأقوى عندما تتعرض للضغط. وهذا ما أسهم فعلاً في اعطاء هذه الملاحظة طابعاً كمياً رياضياً، وبالتالي استطاعوا جعل قوانين علم الحرارة مفهومة.

لقد اتخذ استعمال القوانين الاحصائية شكله النهائي التام في النصف الثاني من القرن الماضي بواسطة الميكانيكا التي أطلق عليها اسم الميكانيكا الاحصائية، الميكانيكا التي اشتقت قوانينها الأساسية من نظرية نيوتن، والتي تعالج المنظومات الميكانيكية المعقدة التي تكون معرفتنا بها ناقصة وتدرس النتائج المترتبة عن هذا النقص. ولم يكن هذا يعني قط التخلي عن مبدأ الحتمية المحض، بل بالعكس من ذلك كان ينظر إلى الحوادث الطبيعية المعزولة كحوادث تقبل التحديد الحتمي بموجب ميكانيكا نيوتن، ولكن مع القول بأن الخصائص الميكانيكية للمنظومة التي تضم تلك الحوادث غير معروفة بتمامها. ولقد نجح جيبس وبولتزمان[4] في التعبير، موضوعياً، وبواسطة عبارات رياضية عن هذا النوع من المعرفة غير التامة. وقد أوضح جيبس بكيفية خاصة كيف أن مفهوم درجة الحرارة مرتبط فعلاً بمعرفة ناقصة ذلك لأن معرفة درجة حرارة منظومة ما معناه أن هذه المنظومة تشكل جزءاً من مجموعة من المنظومات المتكافئة Systèmes equivalents، مجموعة يمكن التعبير عنها رياضياً بدقة، الشيء الذي لا يمكن فعله بالنسبة إلى المنظومة المعزولة موضوع الدرس. لقد خطا جيبس باكتشافه هذا، دون أن يعي ذلك تمام الوعي، خطوة كبيرة كانت لها نتائج مهمة للغاية. لقد كان جيبس أول من ابتكر مفهوماً فيزيائياً لا يمكن أن ينطبق على موضوع من موضوعات الطبيعة إلّا إذا كانت معرفتنا به غير تامة. من ذلك مثلاً أن الحديث عن درجة حرارة الغاز يصبح غير ذي معنى إذا كنا نعرف حركة وموقع جميع جزيئاته. إن مفهوم درجة الحرارة لا يمكن استعماله إلّا إذا كانت معرفتنا بالمنظومة المدروسة غير تامة، وكنا نرغب في استخلاص النتائج الاحصائية المترتبة على هذه المعرفة الناقصة.

---

(3) روبير بويل Robert Boyle، فيزيائي وكيميائي انكليزي من ايرلاندا، ولد عام ١٦٢٧، وتوفي عام ١٦٩١. (المترجم).

(4) بولتزمان Boltzmann، فيزيائي نمساوي (١٨٤٤ ـ ١٩٠٦)، صاحب أبحاث عديدة في المغناطيس والغازات والدينامية الحرارية، أما جيبس Gibbs فهو رياضي وفيزيائي أمريكي (١٨٣٩ ـ ١٩٠٣)، مشهور بأبحاثه في الدينامية الحرارية. (المترجم).

ثالثاً: الطابع الاحصائي لنظرية الكوانتا

على الرغم من أن المعرفة الناقصة بمنظومة ما كانت، منذ الاكتشافات التي توصل إليها كل من جيبس وبولتزمان، مندرجة في الصياغة الرياضية للقوانين الفيزيائية، فإنه لم يقع التخلي عن مبدأ الحتمية إلا بعد ظهور نظرية الكوانتا على يد بلانك. لم يجد بلانك في البداية سوى عنصر واحد يدل على الطابع المنفصل لظواهر الاشعاع التي كان يدرسها. لقد أثبت أن الذرة المشعة لا تصدر الطاقة بكيفية متصلة بل بكيفية منفصلة على شكل صدمات. إن هذا الانفصال في إصدار الطاقة الذي يشبه تتابع الصدمات، قد أدى، مثله في ذلك مثل جميع المفاهيم المتعلقة بنظرية الذرات، إلى القول بالطابع الاحصائي لظاهرة الاشعاع. ومع ذلك كان لا بد من مرور خمس وعشرين سنة على اكتشاف الكوانتا حتى يصبح في الامكان اثبات أن نظرية الكوانتا، تحتم، في الواقع، اعطاء الصيغة الاحصائية للقوانين الفيزيائية، والتخلي عن مبدأ الحتمية. فمنذ أن ظهرت أبحاث اينشتين وبور وسومرفيلد بدا واضحاً أن نظرية الكوانتا هي المفتاح الذي يفتح باب الفيزياء الذرية على مصراعيه. وكان النموذج الذري الذي قال به روترفورد وبور خير مساعد على تفسير العمليات والتفاعلات الكيماوية مما سمح منذ ذلك الوقت بدمج الفيزياء والكيمياء والفيزياء الفلكية في واحد منصهر، وحتم التخلي عن مبدأ الحتمية المحض عند صياغة القوانين الرياضية للظواهر الطبيعية حسب نظرية الكوانتا.

وبما أنني لا أستطيع أن أعرض هنا هذه المعادلات الرياضية فسأضطر إلى الاقتصار على الاشارة إلى بعض القضايا التي تلقي الضوء على الوضعية الفريدة التي يجد فيها العالم الفيزيائي نفسه عندما يشتغل بالبحث عن الفيزياء الذرية.

يمكن ابراز الخلاف بين الفيزياء المعاصرة والفيزياء القديمة من خلال ما يمكن أن نطلق عليه: علاقة عدم التحديد (= علاقات الارتياب)(*). لقد ثبت أنه من المستحيل معرفة موقع وحركة التجسيم الذري في آن واحد، معرفة دقيقة ارادية. نعم يمكن التعرف على الموقع بدقة، ولكن تدخل آلية القياس حين عملية التعرف هذه يحول إلى درجة ما، دون قياس السرعة قياساً دقيقاً. وبالعكس فإن تحديد السرعة تحديداً مضبوطاً يحول بدوره، ولنفس السبب دون التعرف على الموقع. ذلك أن ثابت بلانك يشكل الحد الأدنى التقريبي لحاصل ضرب الخطأ المرتكب في تحديد الموقع في الخطأ المرتكب في تحديد السرعة. إن علاقة عدم التحديد هذه تبين، على كل حال، أن مفاهيم ميكانيكا نيوتن لن يعود في امكانها السير بنا بعيداً، لأنه لا بد في قياس حادث ميكانيكي من معرفة موقع الجسم وسرعته في نفس اللحظة، وهذا بالضبط ما تراه نظرية الكوانتا مستحيلاً. هذا من جهة، ومن جهة أخرى

(*) من الملاحظ أن العلماء الوضعيين يفضلون عبارة «علاقات عدم التحديد» مضفين عليها طابعاً انطولوجياً، في حين يفضل العلماء ذوو الاتجاه اللاوضعي عبارة «علاقات الارتياب» مضفين عليها طابعاً معرفياً فقط. (المترجم).

عمد نيل بور إلى التعبير عن هذه الظاهرة بعبارة أخرى، تعني بذلك مفهوم الطابع التكاملي، وهو يقصد بذلك أن مختلف الصور الواضحة التي نعبر بواسطتها عن المنظومات الذرية ينفي بعضها بعضاً على الرغم من أنها تعبر فعلاً عن معطيات بعض التجارب. وهكذا، فمن الممكن مثلاً، النظر إلى ذرة بور بوصفها منظومة فلكية صغيرة: في وسطها نواة، وحول هذه النواة تدور الكترونات، هذا في حين أن تجارب أخرى تدل على أنه ربما كان من الأفضل اعتبار النواة محاطة بمنظومة من الأمواج الساكنة يتحكم تواترها في اشعاع الذرة. أضف إلى ذلك أنه من الممكن النظر إلى الذرة كموضوع للكيمياء، وفي هذه الحالة يمكن ضبط رد فعلها الحراري عندما تكون متحدة مع ذرات أخرى، ولكن دون أن يكون في الامكان مراقبة حركة الكتروناتها بشكل تزامني (في آن واحد) والنتيجة هي أن مختلف هذه الصور التي تمثل بها الذرة صور صحيحة، ولكن شريطة استعمالها استعمالاً صحيحاً. ومع ذلك فهي صور يناقض بعضها بعضاً. وبالتالي نقول عنها إنها متكاملة. إن عدم التحديد الذي تعاني منه كل واحدة من هذه الصور، تضبطه علاقات اللاتحدد وهي كافية لتجنب ما قد يكون هناك من تناقض منطقي بينها. ودون الدخول في البيانات الرياضية الخاصة بنظرية الكوانتا يمكن القول إن هذه الايضاحات التي أدلينا بها تكفي لجعلنا نفهم كيف أن معرفتنا الناقصة بالمنظومة الذرية يجب أن تمثل جزءاً أساسياً في كل عبارة من العبارات الرياضية التي يفصح بها عن نظرية الكوانتا. إن قوانين نظرية الكوانتا يجب أن تكون من طبيعة احصائية. وهذا مثال على ذلك: إننا نعرف أن ذرة الراديوم يمكن أن تصدر أشعة الفا (α)، وبإمكان نظرية الكوانتا أن تبين، في كل وحدة زمنية، درجة احتمال مغادرة الجسيم الفا (α) لنواة تلك الذرة، ولكنها لا تستطيع أن تتوقع، بدقة، اللحظة التي سيتم فيها هذا الحادث الذي هو مبدئياً حادث غير ممكن تحديده وضبطه. وأكثر من هذا لا يمكن القول إنه ستكتشف قوانين جديدة في المستقبل تمكّننا حينذاك من تحديد تلك اللحظة بدقة. لأنه إذا أمكن ذلك، فلن يكون في مستطاعنا فهم السبب الذي يجعلنا نستمر في النظر إلى الجسيم «الفا» بوصفه موجة تغادر النواة، هذا في حين أن التجربة تؤكد أنه كذلك فعلاً. إن تناقض مختلف التجارب التي تؤكد الطبيعة الموجية للمادة الذرية بنفس الدرجة التي تؤكد بها طابعها الجسيمي، تفرض علينا صياغة قوانين احصائية.

ولا يلعب هذا العنصر الاحصائي الذي يلازم الفيزياء الذرية أي دور، في الغالب، عندما يتعلق الأمر بالحوادث التي تقع على المستوى البشري. ذلك لأن احتمالية القوانين الاحصائية جد مرتفعة، في هذا الميدان، إلى درجة يمكننا معها اعتبار تلك الحوادث كحوادث محددة فعلاً. صحيح أن هناك دوماً حالات تتوقف فيها الحوادث التي تقع في مستوى الأشياء الكبيرة، على سلوك ذرة أو ذرات نادرة، الشيء الذي يجعلنا لا نستطيع توقع هذه الحوادث إلا بكيفية احصائية. وأريد أن أبرهن على هذا بمثال معروف. وسألجأ إلى هذا المثال على الرغم من أنه لا يثير الارتياح، إنه القنبلة الذرية. فعندما يتعلق الأمر بقنبلة عادية يكون في الامكان القيام مسبقاً بتحديد قوة الانفجار بناء على وزن المادة المتفجرة وتركيبها الكيميائي. أما عندما يتعلق الأمر بالقنبلة الذرية فكل ما يمكننا فعله هو تحديد حد أقصى وحد أدنى لقوة

الانفجار، ومن المستحيل مبدئياً تحديد هذه القوة مسبقاً تحديداً دقيقاً، لأنها تتوقف على سلوك عدد قليل من الذرات خلال عملية التفجير. ومن المحتمل أن تكون هناك حوادث مماثلة في ميدان البيولوجيا ـ وقد أشار إليها السيد جوردان[6] بكيفية خاصة ـ ويتعلق الأمر بظواهر على المستوى البشري تتحكم فيها حوادث تتعلق بذرات معزولة. ويظهر أن هذا هو ما يحصل فعلاً عن تبادل الجينات[7] Les gènes خلال عملية الوراثة. لقد اخترنا هذين المثالين لتوضح النتائج التطبيقية للطابع الاحصائي لنظرية الكوانتا. لقد تحدّد الاتجاه الذي يسير فيه نمو هذه النظرية وتقدمها منذ أكثر من عشرين سنة ومن غير الممكن القول إن المستقبل سيشهد تغيراً أساسياً في هذا المجال. . . .».

---

(٦) جوردان Jourdan، عالم رياضي فرنسي (١٨٣٨ ـ ١٩٢٢). (المترجم).

(٧) الجينة Gène، وحدة محددة تقع في الكروموزومات، وإليها يرجع نمو الخصائص الوراثية للفرد. والكروموزومات Cromosomes هي أجسام ذات شكل محدد وعدد ثابت (٢٤ للرجل) توجد في نواة الخلية ويمكن مشاهدتها عند انقسام الخلية. (المترجم).

٥ ـ اللاحتمية والنزعة الذاتية[1]

ديتوش

من القضايا الابيستيمولوجية التي أثارتها الفيزياء الكوانتية قضية الذاتية والموضوعية في المعرفة العلمية، على الأقل في ما يتعلق بالعالم المتناهي في الصغر. إن عدم قابليات الجسيمات الأولية للتحديد الدقيق كما كشفت عن ذلك علاقات الارتياب لهايزنبرغ، يرجع السبب فيه إلى تدخل آلات القياس تدخلاً يجعل من الصعب الفصل في نتائج القياس بين ما يعود إلى الموضوع الملاحظ وما يرجع إلى عملية القياس وأدواته. هذا معطى من معطيات البحث العلمي في مرحلة معينة من تطوره وبالتالي فلا يمكن اهماله. غير أن مدرسة كوبنهاغن، وديتوش من المناصرين لها، ذهبت في تأويل هذا المعطى العلمي مذهباً قصياً. لقد استنتجت من ذلك ـ كما رأينا في النص الذي أوردناه لهايزنبرغ ـ أن اللاحتمية واقعة أساسية في الظواهر الكوانتية، لا يمكن تلافيها لا في الحاضر ولا في المستقبل. والقول باللاحتمية الأساسية هذه يستتبع بالضرورة نزعة ذاتية مفرطة لنفس السبب، أي اعتبار تدخل الذات وآلات القياس شيئاً لا يمكن التخلص منه وهذا ما يحاول ديتوش ان «يبرهن» عليه في هذا النص.

«إن التصورات الديكارتية هي التي قادت إلى تلك الحتمية التي عرفها العلم الكلاسيكي. وعندما ظهر أن تطبيقها يؤدي إلى تناقضات وأن التمسك الصارم بالروح الوضعية يمنع من استعمال عناصر تتطلب، لكي تكون محددة بالفعل، القيام بعمليات لا يمكن انجازها، كان لا بد من فحص الامكانات المبدئية المتعلقة بالقياسات الفعلية فحصاً دقيقاً، والاقتناع بالتالي بأنه ليس في الامكان قياس «حالة» منظومة ما بالمعنى الذي يفهم به القياس في الفيزياء الكلاسيكية، الشيء الذي يعني أنه لا يمكن تحويل «علاقات الارتياب» تحويلاً عكسياً (= جعل السبب نتيجة، والنتيجة سبباً)، ومن ثمة التسليم بوجود لاحتمية أساسية، ولكن دون أن يعني ذلك الغاء الحتمية الخفية.

هناك براهين واستدلالات صيغت بمهارة ودقة، قصد التمييز بين الحتمية الخفية واللاحتمية الأساسية، تؤكد على أن الميكانيكا الموجية نظرية لاحتمية أساساً، وأن أية نظرية

---

(١) Jean Louis Destouches, «Déterminisme et indéterminisme en physique moderne,» dans: *Problème de philosophie des sciences* (Bruxelles: Herman, 1947), pp. 39-42.

قد تشيد في المستقبل، لتغطية ميدان أكثر اتساعاً من ميدان الميكانيكا الموجية، ستكون هي الأخرى نظرية موجية تقول بلاحتمية أساسية. (مبدأ التحليل الطيفي).

وإذن يمكننا أن نتساءل: ما هي الخاصية التي تنجم عنها اللاحتمية الأساسية، وما أصل هذه اللاحتمية؟ للجواب عن هذا السؤال يمكن أن نتصور نظرية فيزيائية هدفها ضبط التوقعات التي تسفر عنها نتائج قياس لاحق، انطلاقاً من نتائج قياس سابق. ومن نقطة البدء هذه، يمكن تشييد نظرية نطلق عليها: النظرية العامة للتوقعات. ويترتب عن هذه النظرية، بكيفية خاصة، أنه لا يمكن أن يوجد ـ قانونياً ـ سوى نوعين من النظريات الفيزيائية.

١ ـ النظريات الموضوعية[٢] التي ترى أن نتائج القياس هي خصائص ذاتية للمنظومات التي نلاحظها، وأن جميع المقادير ـ التي تحدد هذه المنظومة ـ تقبل، قانونياً، القياس المتزامن. مثل هذه النظريات تعتمد الحتمية وتتمسك بها، وترى أن المنظومات التي نراقبها تمتلك حالة ذاتية يمكن وصفها (= تحديدها) بكيفية موضوعية وذلك بالتخلص من تأثير الملاحظين وعمليات الملاحظة.

٢ ـ النظريات الذاتوية التي ترى أن نتائج التجربة لا يمكن النظر إليها كنتائج ذاتية للمنظومات التي نراقبها، وأنه يوجد، قانونياً على الأقل، مقداران اثنان لا يقبلان القياس التزامني. إنها نظريات لاحتمية أساساً، تقول بالطبيعة الموجية للظواهر، أي بصلاحية مبدأ التحليل الطيفي. إن النظريات الذاتوية تلزم عنها النتيجة التالية، وهي أن المنظومات التي نلاحظها لا يمكن أن تكون لها حالة ذاتية ولا أن يكون لها مقدار يحدد هذه الحالة. ذلك لأنها ترى أنه لا يمكن، بأي وجه من الوجوه، إلغاء دور الملاحظين ولا تأثير عمليات القياس. وبالتالي لا يمكن الحديث عن صورة موضوعية للعالم، ولا عن عالم خارجي مفصول عن النشاط الذي يقوم به الملاحظون.

فإذا ما تبين أن نظرية ذاتوية ما توفي بالمطلوب، أي تتوفر على ما يكفي من الصلاحية والصدق، فإن النظرية التي ستشيد في المستقبل والتي سيكون مجال صلاحيتها أوسع (وبالتالي ستعوض النظرية الأولى)، ستكون متصفة بنفس الخصائص الذاتوية. هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن النظرية الموحدة للنظريات المتناقضة تتصف هي نفسها بخصائص ذاتوية لم تكن تتصف بها النظريات التي تم توحيدها. وهكذا فإن تقدم النظريات الفيزيائية لن يعمل إلا على تزايد واتساع الخصائص الذاتوية، ويتضح من هذا بالخصوص، أن الرجوع إلى الحتمية يبدو مستحيلاً تماماً.

يمكن، إذن، أن نعتبر الطابع اللاحتمي لنظرية ما ناتجاً من طابعها الذاتوي (نستعمل هنا كلمة «ذاتوية» بالمعنى الذي شرحناه أعلاه) ولكن الذاتوية تستلزم اللاحتمية الأساسية،

---

(٢) نترجم هنا كلمة Objectiviste بـ «موضوعية» نسبة إلى النزعة الموضوعية، وكلمة Subjectiviste بـ «ذاتوية» نسبة إلى النزعة الذاتية.

واللاحتمية الأساسية تستلزم الذاتوية، مثلما أن الموضوعية تستلزم الحتمية، والحتمية تستلزم الموضوعية.

وإذا كان من الواجب النظر إلى اللاحتمية الأساسية التي تقوم عليها النظريات الكوانتية كنتيجة للطابع الذاتوي الذي تتصف به هذه النظريات ـ وهذا ما تسمح بالبرهنة عليه النظرية العامة للتوقعات ـ فإن تفسير هذه اللاحتمية يتطلب مسبقاً تفسير أصل هذه الذاتوية. ويظهر أن هذا شيء ممكن: ذلك لأنه لما كانت الظواهر الذرية الفردية تستعصي على الحواس، فإن اجراء التجارب في الميدان الميكروسكوبي يتطلب آلات للقياس تمكّننا من الحصول على مناظر للظاهرة الذرية الفردية المدروسة، في الظواهر القابلة للملاحظة المباشرة، على مستوى العالم الماكروسكوبي.

وهكذا يتضح أنه لا مناص من تدخل آلات القياس، بكيفية أساسية لا يمكن التخلص منها، في المنظومات الذرية موضوع الملاحظة وإلاّ استحال علينا معرفة أي شيء عنها. وأنا أقصد هنا بعبارة «بكيفية أساسية لا يمكن التخلص منها» أنه لا يمكن أن نفترض، كما تفعل النظريات الكلاسيكية، أن نتائج القياس هي فعلاً خصائص ذاتية للمنظومات المدروسة، ولا أن نفترض أن هذه الخصائص لها، في ذاتها، هذه القيمة أو تلك، وبالتالي لا يمكن إلغاء أو إهمال تأثير القياس. إن هذا يعني أنه لا وجود لمقدار خاص يحدد حالة المنظومة، وأن الأمر يتعلق بنظرية ذاتوية. ذلك ما يفسر أصل ومنشأ ذاتوية النظريات الكوانتية.

وبعبارة أخرى، يمكن أن نعرف الظاهرة الفيزيائية الماكروسكوبية بكونها ظاهرة يمكن (من الناحية القانونية على الأقل) أن نلاحظها مباشرة بواسطة أعضائنا الحسية، دون اللجوء إلى استعمال آلة للقياس: انه ماكروسكوبي ما يمكن إدراكه بالحواس.

وفي مقابل ذلك يمكن أن نعرف الظاهرة الفيزيائية الميكروسكوبية بكونها ظاهرة لا يمكن (حتى من الناحية القانونية) أن نلاحظها مباشرة بواسطة أعضائنا الحسية. والمنظومة الفيزيائية ستكون ميكروسكوبية إذا كنا لا نستطيع الحصول على أية معرفة بها إلاّ بواسطة قياس يستلزم ضرورة استعمال آلة ماكروسكوبية لا يمكن الاستغناء عنها، من الناحية القانونية.

ولن يكون لهذين التعريفين أي معنى إلاّ إذا قبلنا بفرضية معينة حول امكانيات ملاحظة المنظومات الفيزيائية. والتعريفان السابقان يصبحان دقيقين إذا استعملنا قضية معينة، مثل «مبدأ القابلية للملاحظة» التي قالت به مادام ديتش ـ فيريي.

والذرات، بحكم تعريفها نفسه، تستعصي على الادراك الحسي، وقد تخيّلها الناس ليفسروا بها مظاهر حسية. فلكي تدخل الذرات في الفيزياء، بكيفية فعلية، يجب أن تدخل، بشكل من الأشكال، في التجربة، وأن نحمل التجربة على اثبات وجودها بوضوح. ونحن نعرف أن هذا قد تم تحقيقه من طرف المجربين، في بداية هذا القرن. هكذا أصبحت المنظومات الذرية موجودة، ولكن هذه المنظومات لا يمكن ادراكها بالحواس (من الناحية

القانونية)، بل فقط بواسطة آلات لا يمكن الاستغناء عنها. ومن نتائج النظرية العامة للتوقعات، يلزم أن تكون كل نظرية ذرية نظرية ذاتوية (بسبب عدم امكانية الاستغناء عن آلات القياس) وبالتالي نظرية لاحتمية.

وهكذا نرى، في نهاية الأمر، أن الخاصية الأساسية التي تتصف بها الذرات، والتي تجعلها غير قابلة للإدراك بواسطة الحواس، وقابلة للملاحظة غير المباشرة بواسطة القياس، هي التي تجعل كل نظرية ذرية تكتسي طابعاً ذاتوياً، وبالتالي نظرية لاحتمية أساساً. ومن هنا يتضح إذن، أنه باستعمال النظرية العامة للتوقعات، وباستحضار الخاصية الأساسية الملازمة للذرات، نتمكن من التعرف حقاً على أصل اللاحتمية الكوانتية ونتأدى إلى تفسيرها.

٦ ـ مشاكل الحتمية في الفيزياء الكوانتية[1]

لوي دوبروي

يعالج هذا النص مشكل الحتمية في الفيزياء الذرية، ذلك المشكل الذي أثارته علاقات الارتياب التي كشف عنها هايزنبرغ. وعلاوة على المناقشة الخصبة والواضحة التي يتضمنها النص، في هذا الموضوع، فإن لوي دوبروي يبين بوضوح كيف أن امتناع التوقع الدقيق في الفيزياء الكوانتية لا يعني الغاء السببية. فالسببية في نظره قائمة، سواء على المستوى الذري أو على المستوى الماكروسكوبي. وإذا كان يبدي شكه حول امكانية الوصول في المستقبل إلى التوقع الدقيق في ميدان الميكروفيزياء، فإنه قد عدل رأيه في ما بعد، كما أشرنا إلى ذلك في آخر النص. هذا والمدرسة الفرنسية عموماً، ولوي دوبروي أحد أقطابها، تعارض النزعة الوضعية التي تدافع عنها مدرسة كوبنهاغن. إن المدرسة الفرنسية تتمسك بالتقليد العقلاني الديكارتي، ومن أجل ذلك لم تلق الوضعية الجديدة في فرنسا أي تأييد يذكر.

«لا تطرح مشكلة الحتمية على العالم الفيزيائي بنفس الشكل الذي تطرح به لدى الفيلسوف. فليس على رجل الفيزياء أن يعالج هذه المشكلة في مظهرها الميتافيزيقي العام، وإنما عليه أن يبحث لها عن تعريف دقيق في اطار الحوادث التي يدرسها. ولما كان الأمر كذلك فإن هذا التعريف الدقيق لا يمكن أن يستند ـ في ما نرى ـ إلا على امكانية التوقع الصارم للظواهر التي ستحدث. وهذا يعني أن الفيزيائي يقول بالحتمية عندما تمكنه معرفته بعدد من الظواهر التي يلاحظها في اللحظة الراهنة أو سبق أن لاحظها في فترة زمنية سابقة، مضافة إلى معرفته ببعض قوانين الطبيعة، من أن يتوقع بدقة حدوث هذه الظاهرة أو تلك، من الظواهر القابلة للملاحظة في وقت واحد. ويبدو أن تعريف الحتمية بهذا الشكل، وهو التعريف القائم على امكانية التوقع الدقيق للظواهر، هو وحده التعريف الذي يمكن أن يقبله الفيزيائي لأنه وحده التعريف القابل للتحقيق والاختبار. ومع ذلك يجب أن لا نخفي رؤوسنا في الرمال فنسكت عن الصعوبات التي يثيرها تعريف الحتمية الفيزيائية بهذا الشكل. هناك أولاً وقبل كل شيء ذلك التداخل الكلي العام بين ظواهر الطبيعة، فحركة أصغر

(1) Louis de Broglie, *Continu et discontinu en physique moderne* (Paris: Albin Michel, 1949), pp. 59-64.

الذرات يمكن أن تتأثر بحركة أبعد النجوم والكواكب، مما يجعل التوقع الدقيق فعلاً، لحدوث ظاهرة ما في المستقبل يتطلب مبدئياً المعرفة الكاملة بالحالة الراهنة للعالم، الشيء الذي يجعل مثل هذا التوقع غير ممكن. بيد أن الأمر يتعلق هنا، في الدرجة الأولى، باعتراض نظري. لأن توقع حدوث ظاهرة في المستقبل يمكن القيام به عملياً بالاستناد إلى عدد محدود من المعطيات الخاصة بالحالة الراهنة.

والاعتراض الأهم، هو ذلك الذي يستند إلى كون ملاحظاتنا وقياساتنا هي ذات طابع تقريبي ضرورة. فالمعطيات التي تمدنا بها الملاحظة والقياس معرضة دوماً للأخطاء التجريبية، ومن ثمة فإن التوقعات التي يمكن أن نقوم بها، انطلاقاً من هذه المعطيات الناقصة، ستكون هي الأخرى معرضة لشيء من عدم الدقة، مما سيجعل التحقق من قابلية التوقع الدقيق للظواهر، وبالتالي الحتمية، كما عرفناها أعلاه، أمراً تقريبياً دوماً. ومع ذلك، فإن هذا الاعتراض الجديد لا يبدو أنه قد اتخذ فعلاً شكل الاعتراضات التي لا يمكن التغلب عليها، لأنه من الممكن أن تتحسن ملاحظاتنا وتدق قياساتنا، إما بتهذيب مناهج البحث وإما بإتقان الطرق التجريبية. فإذا كنا نحصل دوماً على توقعات تزداد دقة بازدياد التحسن في ملاحظاتنا، أمكننا أن نعتبر الحتمية كواقعة تميل إلى التحقق الكامل.

لم يكن هناك في الفيزياء الكلاسيكية ما يكذب الفكرة القائلة بإمكانية توقع الظواهر المقبلة توقعاً أكثر كمالاً، كلما كانت طرقنا في الملاحظة والقياس أكثر دقة. وبهذا المعنى كانت الحتمية الفيزيائية أمراً مسلماً به، قبل تقدم معارفنا في ميدان الظواهر الكوانتية. غير أنه عندما بدأ الفيزيائيون يتوغلون في سلم المقادير الصغيرة وأصبحوا يدرسون ظواهر العالم الذري حيث تكشف الكوانتا عن وجودها وتمارس تأثيرها، لاحظوا أن ذلك الميل نحو التحقق الكامل للقابلية للتوقع الدقيق لا يمكن السير به إلى اللانهاية بواسطة اطراد دقة معطيات الملاحظة والقياس. والواقع أنه عندما نريد القيام، في الميدان الذري، بتمحيص متزايد للحالة الراهنة التي توجد عليها الأشياء، قصد الحصول على معرفة دقيقة بالظواهر اللاحقة، فإننا نصطدم باستحالة امكانية التمحيص الدقيق لجميع المعطيات الضرورية في آن واحد: وتلك، كما هو معروف، إحدى النتائج الأساسية التي أسفرت عنها علاقات الارتياب التي صاغها هايزنبرغ. ذلك، لأنه بمقدار ما نوجه ملاحظتنا وقياساتنا بالشكل الذي يمكننا من تمحيص بعض المعطيات بمقدار ما تتناقص دقة معرفتنا بمعطيات ضرورية أخرى. إن التحليلات الدقيقة والعميقة التي قام بها كل من بور وهايزنبرغ قد أكدت هذه النقطة، فأوضحت بجلاء أن هذه الواقعة الجديدة التي لم تكن منتظرة من طرف الفيزيائيين الذين تشبعوا بالأفكار الكلاسيكية، هي نتيجة ضرورية لوجود كوانتوم العمل ذاته. وبما أن كوانتوم العمل هو اليوم بمثابة إحدى الحقائق الأساسية جداً في الفيزياء، فلا مجال للشك في أن علاقات الارتياب التي صاغها هايزنبرغ تكتسي هي الأخرى أهمية أساسية في هذا المجال. فبسبب هذه العلاقات أصبح الميل نحو القابلية للتوقع الكامل، الميل الذي مكننا في الفيزياء القديمة من تأكيد حتمية الظواهر كواقعة تتجه نحو التحقق، شيئاً لا يمكن السير به إلى اللانهاية، إذ لا بد أن يتوقف السير عندما يصل إلى مستوى العالم الذري، أي المستوى الذي

يصبح فيه كوانتوم العمل يمارس تأثيره، وغير قابل للإهمال.

لنقل الآن كلمة عن العلاقة بين مفهوم الحتمية ومفهوم السببية، وهي علاقة لا تكتسي دوماً ما يكفي من الوضوح والدقة، وهي تتوقف، إلى حد كبير، على نوع التعريف الذي نعرف به كلا منهما. وهكذا فبعض الكتّاب يعتبرون مفهوم السببية أضيق من مفهوم الحتمية ويقولون، تبعاً لذلك، إن الحتمية ما تزال قائمة في الفيزياء الكوانتية، أما السببية فلا. ونحن نرى، بالعكس من ذلك، أن أقرب الآراء إلى طبيعة الأمور، هو القول إنه لم تعد هناك حتمية في الفيزياء الكوانتية بالمعنى الذي حددنا به الحتمية من قبل، أما السببية فهي ما تزال قائمة فيها، مع إعطاء مفهوم السببية معنى أوسع قليلاً كما سنوضح ذلك في ما يلي:

لنعتبر الظاهرة «أ» التي تتبعها دوماً إحدى الظواهر الآتية ب 1، ب 2، ب 3. فإذا كان من الممتنع، بالإضافة إلى ذلك، حدوث أي من الظواهر ب 1، ب 2، ب 3. . . عندما يمتنع حدوث الظاهرة «أ» أمكننا القول، مع الأخذ بتعريف واسع للسببية، إن الظاهرة «أ» هي سبب الظواهر ب 1، ب 2، ب 3، . . . إن هذا التعريف ينسجم تماماً مع القول المأثور: «لا نتيجة بدون سبب» ويسمح بالقول بوجود رابطة سببية بين الظاهرة «أ» والظواهر ب 1، ب 2، ب 3. . . ولكن لن تكون هناك حتمية، بالمعنى الذي حدّدنا به هذه الكلمة من قبل، إذا كنا لا نستطيع قط توقع أي من الظواهر: ب 1، ب 2، ب 3 ستحدث عندما تحدث الظاهرة «أ». لن تكون هناك حتمية إلاّ في الحالة المضبوطة التي تحدث فيها ظاهرة «ب» واحدة بعينها. وعليه، يبدو من الواضح أن هناك في الفيزياء الكوانتية سببية من هذا النوع خالية من الحتمية، سببية لا تظهر فيها قابلية التوقع الدقيق إلاّ في حالات استثنائية، تلك الحالات التي يطلق عليها منظرو الميكانيكا الجديدة، اسم «الحالات الخاصة».

(١٠٢)

هل سيسمح لنا تقدم العلم يوماً بإمكانية التوقع التام للظواهر الأولية الفردية، أي بإقرار الحتمية الفيزيائية الصارمة (في الميدان الذري؟) ليس من الممكن، بطبيعة الحال، الإجابة بيقين عن سؤال من هذا النوع. ولكن يمكن، مع ذلك، أن ندلي ببعض الأفكار في الموضوع. لنبدأ أولاً بالإشارة إلى أن الأمر يتعلق هنا بإمكانية اعادة محتملة لقابلية التوقع الدقيق للظواهر الأولية. والواقع أنه من الممكن دوماً افتراض وجود حتمية أساسية في الظواهر المذكورة، حتمية تظل محجوبة عنا لوجودها خارج حدود علمنا وطاقاتنا البشرية. وفي هذه الحالة ستكون أمام فرضية ميتافيزيقية، أمام اعتقاد غيبي. والحتمية بهذا المعنى لن تكون تلك التي يحق للفيزيائي وحده، في ما يبدو لنا، معالجتها، والتي عرفناها قبل بقابلية التوقع الدقيق. إن المسألة المطروحة هي معرفة ما إذا كانت النظرية الفيزيائية تستطيع، عندما تتوفر في المستقبل على المعلومات التي نفتقدها اليوم، وربما أيضاً على المفاهيم التي لم تصنع بعد، الحصول على القواعد التي تمكن من التوقع الدقيق للظواهر على المستوى الذري. إن تدخل كوانتوم العمل في ظواهر الفيزياء الميكروسكوبية يقدم لنا، في ما نعتقد، بعض الإيضاحات حول هذا الموضوع. إن مفهوم كوانتوم العمل ذاته يستلزم، في الواقع، قيام نوع

من الرابطة بين اطار المكان والزمان وبين الظواهر الديناميه التي تحاول موضعتها فيه، رابطة لم تكن موضوع شك في الفيزياء الكلاسيكية.

فإذا أمكن لنظرية مقبلة أن تسمح لنا بالنظر بوضوح أكثر إلى المسائل الكوانتية فإن ذلك لا يمكن أن يحصل، وهذا لا شك فيه، إلاّ إذا عدلنا بشكل أساسي أفكارنا حول المكان والزمان (بما في ذلك التصورات التي جاءت بها نظرية النسبية). ولكن إذا أمكن إنجاز هذه المهمة الصعبة فهل ستسمح بالعودة فعلاً إلى قابلية التوقع الدقيق لظواهر الميكروفيزياء؟ لا يبدو لنا أن هذا أمر محتمل، لأن وصف الملاحظات ونتائج التجربة سيتم بواسطة المعنى العادي لكلمتي زمان ومكان. ويبدو أنه من الصعب جداً أن يكون الأمر على خلاف ذلك. فللوصول إلى توقع الظواهر القابلة للملاحظة، وهذا هو هدف النظرية الفيزيائية، لا بد لهذه النظرية نفسها من أن تعود، في لحظة ما إلى إطار الزمان والمكان بشكله المعروف. ويبدو أنه من المحتمل جداً أن تظهر في ذات اللحظة الارتيابات الكوانتية المرتبطة بوجود كوانتوم العمل، وبالتالي فإن التوقعات الممكنة لن تكون دقيقة تماماً.

والخلاصة، انه من الجائز التفكير في أن الفيزياء ستتمكن يوماً من العثور على الحتمية الدقيقة في المستوى الميكروسكوبي، تلك الحتمية التي انتجتها دراسة العالم الماكروسكوبي، ولكن بالنظر إلى الحالة الراهنة لمعارفنا، فإن تقدماً من هذا النوع يبدو لي شخصياً احتمالاً ضعيفاً جداً»[٢].

---

(٢) كان هذا هو رأي لوي دوبروي سنة ١٩٤١، السنة التي كتب خلالها المقالة التي ترجمنا معظم فقراتها في هذا النص. ولكنه عاد فيما بعد إلى تبني الرأي القائل بإمكانية قيام الحتمية في الفيزياء الذرية وهو الرأي الذي كان ينادي به في بدء عمله العلمي. لقد بدأ لوي دوبروي كأحد أنصار الحتمية الكلاسيكية، ثم عدل رأيه بتأثير من مدرسة كوبنهاغن ولكنه عاد في آخر حياته إلى القول بالحتمية من جديد. انظر:

Louis de Broglie, *La Physique quantique restera-t-elle indéterministe?* (Paris: Gauthier-Villars, 1973).

٧ ـ تطور مفهوم الحتمية[1]

كالينا مار

يعالج هذا النص وهو البحث الذي شارك به صاحبه (وهو من رومانيا) في المؤتمر الدولي الثاني عشر لتاريخ العلوم المنعقد في باريس خلال شهر اب/ اغسطس من عام ١٩٦٨، يعالج تطور مفهوم الحتمية منذ لابلاس إلى اليوم مع التركيز على النظرية الكوانتية وعلاقات الارتياب. وهكذا فعلاوة على أن هذا النص يشكل إحدى وجهات النظر المعاصرة في موضوع الحتمية (وجهة نظر ماركسية)، فإنه من التركيز والخصوبة بالشكل الذي يجعله صالحاً ليكون كمحاولة تركيبية للمناقشات التي تعرفنا عليها في النصوص السالفة حول مشكل الحتمية في الفيزياء المعاصرة.

«إذا نظرنا إلى الحتمية بوصفها نظرية للحالات المضبوطة وللآليات التي تحدّد وتولد مثل هذه الحالات، فإننا نجدها تطرح، من وجهة النظر الفلسفية، النقاش حول العلاقة بين عدة مقولات: العلاقة بين السببية والضرورة، بين القوانين الدينامية والقوانين الاحصائية، بين ما هو ممكن وما هو واقعي. والطريق التي سلكها مفهوم الحتمية في تطوره هي نفس الطريق التي يتكوّن خلالها الفهم الجدلي المركب لهذه العلاقات والترابطات.

١ ـ يبدو أن الفصل، خلال القرن العشرين، بين ما هو أساسي وما هو غير أساسي، قد أدّى إلى قيام اجماع في الرأي بشأن الحتمية الكلاسيكية كما تصورها لابلاس، وكان لابلاس قد تناول الحتمية على المستوى الأنطولوجي والمستوى المعرفي.

فمن الناحية الأنطولوجية، تقوم حتمية لابلاس على أساس:

أ ـ وجود «الحالات» وجوداً موضوعياً محدداً بدقة.

ب ـ إن الانتقال من حالة إلى أخرى انتقال ضروري لزوماً، الشيء الذي يعني أن

---

(١) Calina Mare, «Quelques aspects de l'évolution du concept de déterminisme dans la physique,» papier présenté à: *XII^e Congrès International d'histoire des sciences* (Paris: Librairie scientifique et technique: A.P. Blanchard, 1970).

الواقعي يحل بكليته على الممكن وفاقاً مع المبدأ القائل: إن كل ما هو ممكن يصبح واقعياً ضرورة.

ج ـ وجود أسباب تفرض ذلك الانتقال بنفس الضرورة واللزوم.

ولا شك في أن التمييز بين هذه الجوانب يساعد على تبيان الفرق بين قوانين الحالة، وقوانين التطور، ويمكن من التمييز في قوانين التطور هذه، بين القوانين التي تخص تتابع الحالات، والقوانين التي تضم، في نفس الوقت، لحظة التحديد السببي لهذا التتابع. وهكذا تضاف إلى قوانين التطور الصارمة التي تكتشف بالملاحظة، فكرة القوة التي هي بمثابة النواة السببية التي تفسر الانتقال من حالة إلى أخرى[٢].

وأما من الناحية المعرفية ـ الابستيمولوجية ـ فإن حتمية لابلاس تقوم على التمييز بين ثلاثة مظاهر في المعرفة:

أ ـ تحديد الحالات.

ب ـ تحديد الانتقال من حالة إلى أخرى.

ج ـ الكشف عن الأسباب التي تسبب في هذا الانتقال.

إن هذا التوضيح ضروري لأن مختلف أنواع الرفض الجذري للحتمية إنما ترجع، إما إلى المطابقة بين مستوى الوجود ومستوى المعرفة، وهنا يفسّر العجز عن الكشف عن بعض التحولات وكذا عن تبين حركية التحديد، بنفي الوجود الموضوعي للتحديد، وإما بالمطابقة بين الحتمية والسببية على العموم من جهة، وبين حتمية لابلاس، والكيفية التي فهم بها هذا الأخير العلاقة السببية، من جهة أخرى.

٢ ـ ولكي نتمكن من فهم العلاقة بين السببية والضرورة، بين ما هو دينامي وما هو احصائي، بين ما هو ممكن وما هو واقعي، فهماً أكثر دقة، تجدر الاشارة إلى أنه لا نظرية الدينامية الحرارية، ولا نظرية النسبية، تجاوزت، في العمق، المفهوم الذي أعطاه لابلاس للحتمية، الشيء الذي عزز لدى الفيزيائيين اعتقادهم بأن تطبيق الحتمية اللابلاسية هذه يكتسي طابع الكلية والشمول.

لقد لجأت أولى النظريات في الدينامية الحرارية إلى إعطاء تفسير ذاتي للظواهر الاحصائية، وذلك لأنها كانت واقعة تحت تأثير الاعتقاد في صلاحية الحتمية الكلاسيكية صلاحية كلية، والايمان بالطابع الموضوعي المطلق للقوانين الدينامية. وأما نظرية النسبية،

---

(٢) نعود فنذكّر هنا بالمعنى الاصطلاحي لكلمة «حالة». إن «حالة» منظومة ما هي عبارة عن القيم التي تحدّد موقعها وكمية حركتها (= سرعتها). والمقصود بقوانين الحالة القوانين التركيبية، قوانين المنظومة أو البنية كما توجد في فترة زمنية ما. أما قوانين التطور أو (القوانين السببية أو القوانين الدينامية أو القوانين التكوينية، وكلها بمعنى واحد) فهي تحدد الانتقال من حالة إلى أخرى عبر الزمن. هذا وكلمة «التحديد» ومشتقاتها تعني هنا ضبط الموقع والسرعة والتوقع الحتمي للحالة اللاحقة بناء على الحالة الراهنة أو السابقة. (المترجم).

فعلى الرغم من أنها ساهمت بشكل أساسي في تطوير مفهوم السببية وبيان حقيقة العلاقة التي تربط بين الحالات، بإدخالها في الحساب السرعات المحدودة، وتأكيدها على استحالة قلب العلاقة السببية عندما يتعلق الأمر بالحوادث التي تتتابع في الزمن، فإنها لم تمس الهيكل البنيوي لحتمية لابلاس، لأنها أهملت جانب الصدفة والجانب الاحصائي في تفسير الظواهر التي كانت تعنى بدراستها.

٣ ـ وعندما بدأت الميكانيكا الكوانتية تطل على أفق الفيزياء، أخذ بريق حتمية لابلاس ـ التي كانت واضحة كاملة إلى درجة تبعث على الشك فيها ـ يختفي في الضباب، حتى في ميدان الفيزياء نفسها. (نشدد هنا على ميدان الفيزياء لأن الميادين الأخرى ـ كالبيولوجيا والاجتماع مثلاً ـ قد عرفت أهمية عامل الصدفة بالنسبة إلى الحتمية قبل ذلك بوقت طويل، وذلك في ارتباط مع التفسير الديالكتيكي ولفائدته).

لقد اتضح أولاً أن المقادير المتلازمة قانونياً لا تقبل معاً القياس الدقيق المتزامن إلاّ بشكل محدود نظراً لعلاقات عدم التحديد الدقيق، الشيء الذي يدل أيضاً على محدودية امكانية مد المبادىء الكلاسيكية إلى هذا الميدان الجديد، وعلى قصور اللغة الكلاسيكية.

ومن هنا جاء ذلك التكذيب الظاهري لمبدأي السببية والحتمية على العموم، وقد كان يطابق بينهما وبين الحتمية اللابلاسية والسببية الكلاسيكية. ويبدو أن التفسير اللاحتمي للظواهر قد اجتاز مرحلتين:

مرحلة اللاحتمية على المستوى المعرفي حيث كان يؤكد على عجز الذات العارفة عن الكشف عن وجود تحديد كلاسيكي (حتى ولو كان موجوداً فعلاً) بسبب تدخل أدوات القياس، بل وتدخل الذات نفسها.

مرحلة اللاحتمية على المستوى الأنطولوجي حيث كان يؤكد على الوجود الموضوعي للاتحدد في مجال الأشياء الميكروسكوبية التي تدل الوقائع على أن سلوكها يختلف عن سلوك النقط المادية في الفيزياء الكلاسيكية.

إن التمييز بين هاتين المرحلتين، بالشكل الذي أبرزناه، يمكن أن ينسحب أيضاً على الاسم الذي يطلق على علاقات هايزنبرغ التي يعبر عنها، تارة بعلاقات الارتياب أو علاقات عدم التحديد الدقيق (عندما تبرز فيها لحظة المعرفة) وتارة بعلاقات اللاتحدد (عندما تبرز فيها جوانب الوجود).

ومرد هذا التكذيب الظاهري لمبدأ الحتمية هو أننا ننطلق من فرضية ننسب بموجبها إلى الأشياء الميكروسكوبية أبعاداً ذات قيم محددة بالضبط تحدد حالتها، أبعاداً لا تستطيع تلك الأشياء تحملها بنفس تلك القيم في آن واحد (ولم يكن ينظر إلى هذه الأبعاد حتى بوصفها تتعلق بالوسط الفيزيائي الذي يعدّ مكان وجود الأشياء الميكروسكوبية).

لقد كان التفسير اللاحتمي للظواهر مصحوباً دوماً بأطروحة ذاتية النزعة، ترى أن

القول بعلاقة اللاتحديد ينطوي ضمنياً على قبول وجود حد أقصى للموضوعية لا يمكن أن تتعداه الذات العارفة، نظراً لأنه يستحيل عليه الفصل بين ما يرجع إلى المنظومة المادية موضوع الملاحظة، وما يرجع إلى ما تضيفه الذات نفسها خلال عملية القياس الذي تقوم به.

غير أن هذا التفسير اللاحتمي الذاتوي النزعة في ميدان الميكانيكا الكوانتية، لم يكن وحده التفسير الممكن. دليل ذلك أنه خلال العقود التي تلت ظهور التفسير اللاحتمي في فيزياء العالم المتناهي في الصغر، لم تكف التفسيرات المتمسكة بالحتمية عن توطيد أقدامها وتنمية مقولاتها. على أن وجهة نظر القائلين بالحتمية ووجهة نظر القائلين باللاحتمية أخذت بعد ذلك تقترب من بعضها بفضل حوار مثمر ونقاش بناء، مما أدّى إلى قيام اتجاهات تركيبية ما فتئت تزداد وجاهة ونفوذاً.

وقبل أن أنتقل إلى عرض الحلول التي يقول بها المتمسكون بالحتمية، أحب أن أبرز هنا تطور مدرسة كوبنهاغن نحو:

- اقرار التوافق بين مبدأ السببية العام وفكرة التكاملية.

- ابراز الجانب الموضوعي في التفاعل الذي يحصل بين المجرب والمنظومة المؤلفة من الموضوع الميكروسكوبي والأداة الماكروسكوبية.

- ابراز الفرق بين مستوى الممكن ومستوى الواقعي. الأول يتعلق بإمكانيات الموضوع الميكروسكوبي، والثاني يضم، في صيغة تكاملية لا تقبل التفاضل، نتائج التفاعل بين الموضوعات الميكروسكوبية والأدوات الماكروسكوبية.

بعد هذا ننتقل إلى الاتجاهات المتمسكة بالحتمية المدافعة عن مبدأ التحديد والسببية كمبدأ عام. لقد نشأت هذه الاتجاهات تحت ضغط الحاجة إلى الوقوف في وجه مبالغات القائلين باللاحتمية ومن أجل الدفع بالجوانب الايجابية في التأويلات «الرسمية» للميكانيكا الكوانتية، خطوات إلى الأمام.

وفي هذا الإطار يمكن التمييز بين شكلين أساسيين من أشكال التفسير الذي يعطي القيمة الموضوعية للميكانيكا الكوانتية:

١ - الأول يعتبر المحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية صالحاً بكامله. إن ممثلي هذا الاتجاه يؤكدون أن الميكانيكا الكوانتية ذات طابع احصائي لا يمكن ارجاعه إلى قوانين دينامية، وأنها تعكس، بعمق، العلاقات المعقدة القائمة في ميدان العالم المتناهي في الصغر، وأن الأبحاث التي ستتم في المستقبل لن تعمل إلاّ على تأكيد الطابع الاحصائي الخاص بهذا الميدان. هذا مع العلم بأن القول بأولوية القوانين الاحصائية يرتبط في الأعم الأغلب بالقول بوجود كثرة من الأسباب هي المسؤولة عن الطابع المتناقض الذي يتصف به مفعول مختلف العوامل المؤثرة في سلوك الموضوعات الميكروسكوبية.

٢ ـ أما الثاني فيعتبر الميكانيكا الكوانتية صالحة فقط في دراسة الجسيمات الأولية كمجموعة، ولا تصلح لدراسة سلوكها الفردي. ولذلك يرى أصحاب هذا الرأي أنه من الضروري إنشاء نظرية جديدة تكون فيها الميكانيكا الكوانتية كحالة خاصة ضمن حالات أخرى، نظرية تتجاوز نتائج الميكانيكا الكوانتية وتعمل على تفسير بنية وسلوك الجسيمات الأولية. هؤلاء يقولون بأن وراء القوانين الاحصائية التي تكشف عنها الميكانيكا الكوانتية قوانين دينامية من شأنها إذا اكتشفت أن تفسر السلوك الفردي للأشياء الميكروسكوبية.

٣ ـ هناك موقف وسط، هو موقف أولئك الذين يرون الميكانيكا الكوانتية تقتصر على دراسة الأشياء الميكروسكوبية كمجموعات، ولكن دون أن يستنتجوا من ذلك أي شيء، تاركين للباحثين، في المستقبل، مهمة توضيح هذا المشكل الشائك.

جميع هذه الاتجاهات تشترك في الاعتراف بالوجود الموضوعي للسببية عامة، وللحتمية خاصة. وإذا نظرنا إلى المسألة بعمق وجدنا أن أصحاب الاتجاه الأول يأخذون ما يعتبرونه صالحاً في وجهة نظر مدرسة كوبنهاغن فيتبنونه ويوسعونه. وهكذا يرى المسيو فوك V.A. Fok أن معطيات الميكانيكا الكوانتية، وبكيفية عامة معطيات الفيزياء الذرية، من شأنها أن تمدّنا بما يكفي من الأسباب التي تحملنا على الاحتفاظ بمحتوى مفهوم السببية والعمل على اغنائه. وهو لا يهمل إلاّ تلك الجوانب الضيقة في حتمية لابلاس. إنه يرى أن الميكانيكا الكوانتية كشفت عن ثلاثة مبادىء جديدة تغني قدرتنا على التفسير، مبادىء يجب أخذها بعين الاعتبار في كل نظرية للسببية تريد أن تكون غنية خصبة وهذه المبادىء هي:

ـ ارتباط النتائج ارتباطاً نسبياً بأدوات القياس، واعطاء هذا الارتباط معنى موضوعياً بالنظر إليه كتعبير عن تبعية الخصائص الجسيمية الموجية التي تتصف بها الأشياء الميكروسكوبية، تبعيتها للبنية التي تكون عليها الأجهزة التجريبية في آخر مراحل التجريب، أي مرحلة تسجيل المعلومات.

ـ التمييز بين الممكن والواقعي لأن ما يبدو في دائرة الممكن لا يتجلّى كله في دائرة الواقعي.

ـ فهم السببية فهماً أكثر عمقاً وأشد تعقيداً، لأن الأمر يتعلق بسببية تلعب دورها في ميدان الممكن، وليس فقط في ميدان الحوادث الواقعية المتحققة.

إن تحديد الأبعاد (= أو الاحداثيات) الدينامية للحالات التي تأتي كنتيجة، بواسطة الأبعاد الدينامية للحالات التي تكون سبباً، هو تحديد احصائي دوماً. وكمثال على ذلك تشير إلى أنه عندما يحصل «اصطدام» بين جسيمين ميكروسكوبيين فإن الميكانيكا الكوانتية لا تجيب عن هذا السؤال: ما هي الحالة الكلاسيكية «التامة» التي أصبحت لهذين الجسيمين بعد الاصطدام؟ لا تجيب الميكانيكا الكوانتية عن هذا السؤال لأنه ليست هناك مثل هذه الحالة؟ إنها تجيب فقط على السؤال التالي: كم هي مرتفعة درجة احتمال عثورنا عقب الاصطدام، وخلال تجربة ما، على مختلف النتائج التي يمكن أن يسفر عنها هذا الاصطدام؟

هنا تطرح مسألة ما إذا كانت الميكانيكا الكوانتية تدرس الأشياء الميكروسكوبية كفرديات أم أنها تدرسها فقط كمجموعات؟

لقد تبين، في المدة الأخيرة، أن الخطوط الفاصلة بين النظرية الكوانتية ونظرية المجموعات قد أخذت تفقد صلابتها، بسبب أن المعلومات المستقاة من المعطيات التجريبية، والمعبّر عنها نظرياً، تهم في آن واحد، سلوك المجموعات وسلوك الجسيمات الفردية، الأولى على مستوى الواقع، والثانية على مستوى الممكن. ولذلك نرى أن فكرة السيد فوك V.A. Fok التي تقول إن العلاقة السببية تكون ذات معنى في ميدان الممكن فقط دون ميدان الواقعي، يجب أن تتم بالفكرة التالية وهي أنه بدون القول بالسببية المتحققة واقعياً لا يمكن القيام بأبحاث في العالم المتناهي الصغر. هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن التأكيد على كون الاحتمال مفهوماً أساسياً وأولياً في الميكانيكا الكوانتية يمكن أن يقبل إذا فهمنا منه أنه يشير فقط إلى الأهمية الخاصة التي تكتسيها الاحتمالات في فيزياء العالم المتناهي في الصغر، مع العلم بأن لكل احتمال جذور تمتد داخل حالة واقعية ما، ولذلك كان من الخطأ ربط الاحتمال بالتطورات التي تحدث في المستقبل وحدها.

وهكذا نرى أنه بدلاً من النظرية المتصلبة، نظرية لابلاس في الحتمية حيث تحمل السببية محمل الضرورة، والواقع محمل الممكن، وحيث يردّ ما هو احصائي إلى ما هو دينامي، بدلاً من ذلك كله، ظهر، على مستوى الميكانيكا الكوانتية، فهم آخر للحتمية أقل تصلباً وأكثر مرونة، يبرز الطابع الموضوعي والضروري الذي تكتسيه القوانين الاحصائية، ويكشف عن خطأ المطابقة بين ما هو واقعي وما هو ممكن نظراً لوجود عوامل عرضية، ونظراً كذلك لتأثير السببية في ميدان الممكن.

وأخيراً فإن الأجوبة التي يجاب بها عن السؤال التالي: كيف يمكن أن نفسر الطابع الاحصائي للميكانيكا الكوانتية، ما زالت تدور، في الوقت الراهن، في دائرة الافتراضات، وأكثر هذه الأجوبة متانة هي تلك التي يقدمها أولئك الذين ينتمون بالخصوص إلى التيار الذي يطلق عليه اسم «الاتجاه السببي» والذي يوجد على رأسه دوبروي وفيجي J.P. Vigier وبوهم U. Bohm.

إن فكرة المستويات التي قال بها فيجي وبوهم هي، من الناحية الفلسفية مهمة جداً. ذلك لأن الأمر يتعلق بمستويات يفترض فيها أن القوانين الاحصائية والقوانين الدينامية (التي يطلق عليها كذلك اسم القوانين السببية) تعمل عملها بشكل يجعل من الممكن فهم وتفسير مختلف أنواع الانتظام الذي تعبر عنه القوانين الاحصائية، في مستوى أكثر عمقاً، مستوى ما تحت الكوانتا Le niveau subquantique.

إن ممثلي هذا الاتجاه، عندما يبرزون أن لكل مستوى خصوصية وقوانين واقعية لا يمكن إرجاعها إلى مستويات أخرى، قوانين تعبّر عن بعض الاطراد وتفسره في الوقت نفسه، ينتهون أحياناً إلى قبول نتائج وجهة نظر اللاحتمية على المستوى الذي تدرسه الميكانيكا

الكواانتية، آملين أن العودة إلى النموذج الحتمي ستحقق في مستوى آخر، مستوى ما تحت الكواانتا.

هل يمكن استخلاص بعض النتائج من هذا العرض السريع الذي قمنا به لمختلف الاتجاهات التي تعتبر، في العمق، مناصرة للحتمية؟

لقد تبين من المناقشة التي قمنا بها أن هناك نقطاً تتفق فيها هذه الاتجاهات وأخرى تختلف فيها، وذلك على المستويات الثلاثة التي أشرنا إليها أعلاه: محدودية مفاهيم الميكانيكا الكلاسيكية، الطبيعة الاحصائية للظواهر الكوانتية، ثنائية الجسيم ـ الموجه.

لا أحد يعارض اليوم في أن لمفاهيم الميكانيكا الكلاسيكية دائرة محدودة في مجال قابليتها للتطبيق في ميدان الميكانيكا الكوانتية، والمهم في الدرجة الأولى، من الناحية الفلسفية، هو أن تقييد صلاحية المفاهيم الكلاسيكية لتحديد الظواهر لا يدل ـ في نظري ـ على نفي كل تحديد للظواهر.

أما على مستوى الميكانيكا الكوانتية فإن هذه الاتجاهات تبرز أيضاً أن الظواهر محددة بأسباب مادية في ظل شروط موضوعية معينة، وإذن، فيجب أن نفترض، كما هو الشأن بالنسبة إلى نظرية الاحتمالات على العموم، وجود أسباب تحدّد سلوك الجسيمات الأولية، سلوكها المترجرج (غير القابل للتحديد الدقيق) وسلوكها الثابت القابل للتحديد الدقيق.

إن جميع الفيزيائيين والفلاسفة الماديين يبرزون الطابع الموضوعي لحساب الاحتمالات، مثلما يبرزون الطابع الموضوعي للقوانين الاقتصادية التي يسري مفعولها في العالم المتناهي في الصغر، وهم يعترفون بأن السببية تكتسي، في هذا الميدان طابعاً معقداً جداً، أكثر مما هو عليه الحال في ميدان العالم البشري، عالم الأشياء الكبيرة. هنا، في ميدان العالم المتناهي في الصغر، يمكن لمجموعة من الظروف أن تؤدي ـ أو لا تؤدي ـ إلى حدوث الظاهرة، ولكن حدوثها أو عدم حدوثها له أسباب موضوعية لا يمكن الاعتراض عليها.

هل يمكن أن تبرز من خلال الظواهر هذه السببية الكامنة في سلسلة التفاعلات المعقدة؟

إن أنصار النظرية القائلة بالاحتمال يرون أن الفصل بين الظاهرة والسبب شيء لا يمكن القيام به. ذلك لأن الفصل، في الميكانيكا الكوانتية بين الضروري والعَرَض شيء متعذّر، وبالتالي فإن عزل الظاهرة شيء متعذّر كذلك. فسلوك الجسيمات الأولية سلوك احصائي، ولذلك كان التوقع احتمالياً فقط. إن الشكل الاحصائي الذي تظهر فيه السببية لا يلغي السببية، بل يبرز فقط المفهوم الديالكتيكي للترابط العام على صعيد الكون كله، أي استحالة عزل الموضوعي الميكروسكوبي عن محيطه. إن العلاقات السببية، لا تظهر، في المستوى الخاص بالميكانيكا الكوانتية بشكل بسيط ومباشر، بل بصورة غير مباشرة.

أما بالنسبة إلى أنصار النظرية القائلة بالسببية فهم يرون أن السبب الذي يحدث

الـظاهرة أسـامي في هذه الـظاهرة نفـسهـا، ولذلـك كانت العـلاقة السـببيـة أسـاسيـة في فهم الظواهر، لأنها ناتجة من التفـاعل العـام بين حـوادث الكون. وبـطبيـعة الحـال يجب أن تفهـم السـببية فهماً مرناً يفرضه الحضور الدائم للعـلاقات الكـونية العـامة حيث تحتفظ الصـدفة هي أيضـاً بدور هام.

وأمـا أولئك الـذين يعتبرون نـظرية الكـوانتا نـظرية نهائيـة ويـرفضـون بـالتـالي فكـرة البرامترات «الخفية» فإن رأيهم هذا غير مبرر، في نظرنا من الناحية الفلسفية. إن تاريخ العلم يدلّنا على أن النظرية، أية نـظرية لا بـد أن تتكشف حدودهـا، آجلاً أو عـاجلاً، ولا بـد أن تكـمل وتعدل أو تعوّض بنظريات أخرى أكثر متانة.

إنه لمن الصـعب افتراض أن الواقع، على المستوى الميكروسكوبي سيـبقى دوماً بالتحـديد واقعاً احصـائياً، وأنه لا يمكن العثـور على مسـتويات ـ في هـذا الواقـع نفسه ـ تسـمح بإبـراز علاقات سببية أساسية أو جملة من العلاقات الديناميةء.

٨ ـ العلم واقتصاد الفكر(١)

أرنيست ماخ

تنتسب مختلف التيارات الوضعية الجديدة إلى العالم الفيزيائي الألماني أرنيست ماخ ونزعته الظاهراتية. وينتسب ماخ نفسه إلى بركلي ومبادئه المشهورة، كما شرحنا ذلك في الفصل الرابع من القسم الأول من هذا الكتاب. ويلخص النص الذي نترجمه هنا آراء ماخ في هذا الصدد: فبما أن الانسان لا يمكنه أن يعرف سوى انطباعاته الحسية، فإن ما نسميه «الشيء» أو «الموضوع» ليس بالنسبة إلينا سوى مجرد مركب من الاحساسات، فهو رمز للإحساسات، لا العكس. وإذن فمهمة العلم، ليست الاطلاع على حقيقة العالم الواقعي كما هي بل فقط اقتصاد الفكر، أي تجميع الانطباعات الحسية في صور ومركبات ذهنية، وإدماج هذه الصور الذهنية بعضها في بعض بواسطة القوانين (أي العبارات الرياضية) واختزالها في أقل عدد ممكن من المبادىء، يسهّل تداولها ونقلها من جيل لآخر. فالعلم إذن لغة تختزل الاحساسات وتقتصد الفكر. وقد استخلصت التجريبية المنطقية (مدرسة فينا وفروعها) النتيجة المنطقية لهذا التصور، فقالت إن موضوع الفلسفة هو التحليل المنطقي للغة العلم كما شرحنا ذلك في المدخل العام الذي صدرنا به الجزء الأول من هذا الكتاب. وقد تبنت نزعات وضعية أخرى، في ميدان العلم ذاته، وجهة نظر ماخ، فأنشأت تصورات عن المعرفة العلمية وضعية تماماً، أي تقصر المعرفة العلمية على ميدان الظواهر والقياس كما سنرى في النصوص المقبلة.

«١ ـ إن ما يرمي إليه العلم، أي علم، هو استبدال التجارب بنسخ ذهنية وتصورات للحوادث، واختزالها في الفكر. والنسخة أكثر مرونة، في الواقع، من التجربة نفسها، ويمكن أن تقوم مقامها من عدة نواح. إن هذه الوظيفة الاقتصادية التي تعم كيان العلم بأجمعه تتجلى أولاً، وبوضوح، في البيانات والبراهين العامة. واكتشاف هذا الطابع الادخاري للعلم يزيل من الميدان العلمي، في نفس الوقت، كل مسحة صوفية. ونحن عندما ننشر العلم بواسطة التعليم إنما نهدف إلى نقل تجارب الآخرين إلى المتعلم، وتمكينه من اقتصاد بعض التجارب. والكتب التي تزخر بها الخزانات تنقل، هي الأخرى إلى الأجيال اللاحقة تجارب الأجيال السابقة وتوفر عليها عناء القيام بتلك التجارب. واللغة التي هي وسيلة هذا النقل هي،

---

(١) Ernst Mach, *La Mécanique*. Texte rappelé par: Robert Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, collection U2; 46 (Paris: Armand Colin, 1969), pp. 206-209.

بطبيعة الحال، عامل في عملية الادخار هذه، فلا تتم عملية النقل هذه إلاّ بتجزئة التجارب وتفكيكها إلى عناصر بسيطة وتحويلها إلى رموز تحقق بواسطتها عملية النقل تلك، وهذا ينتج منه دوماً التضحية بالدقة إلى حد ما. . .

٢ ـ عندما ننشيء في أذهاننا نسخة عن ظاهرة ما، فإننا لا ننشئها انطلاقاً من الظاهرة ككل، بل انطلاقاً من جوانبها التي تبدو لنا أكثر أهمية، يوجهنا في ذلك هدف معين، هو نتيجة مباشرة أو غير مباشرة لفائدة عملية نتوخاها. أضف إلى ذلك أن تلك النسخ هي دوماً تجريدات وهنا أيضاً يمكن أن نلمس نفس الميل إلى الاقتصاد.

تتألف الطبيعة من عناصر تمدّنا بها الحواس. والرجل البدائي يدرك، أولاً وقبل كل شيء، بعض المركبات المكوّنة من هذه العناصر والمتمتعة باستقرار نسبي والتي تكتسي بالنسبة إليه أهمية ما. وأقدم الكلمات هي أسماء لـ «أشياء». وفي عملية التسمية هذه يمكن أن ندرك بسهولة كيف أننا نغض الطرف عما يحيط بالشيء الذي نعطيه اسماً، وكيف أننا نهمل التغيرات الدقيقة التي تلازم ذلك المركب (= الشيء) لكونها تبدو لنا أقل أهمية. أما في الطبيعة فلا شيء فيها يبقى هو هو بدون تغير. إن الشيء تجريد، والاسم رمز لمركب من العناصر لا يهتم بالتغيرات التي تلازمه. ونحن نطلق على المركب بأجمعه كلمة أو نرمز إليه برمز وحيد، عندما نكون في حاجة إلى استحضار جميع الانطباعات التي تؤلفه، دفعة واحدة، ولا نوجه انتباهنا إلى التغيرات التي تلازمه إلاّ في ما بعد، عندما نرتفع إلى درجة أعلى (= من البحث). وهنا يصبح من المستحيل، بطبيعة الحال، الاحتفاظ بمفهوم الثبات واللاتغير. وإذا حاولنا ذلك وجدنا أنفسنا أمام مفاهيم فارغة ومتناقضة مثل مفهوم «الشيء في ذاته». وليست الاحساسات «رموزاً للأشياء»، بل بالعكس من ذلك، فالشيء رمز ذهني لمركب من الاحساسات يتمتع باستقرار نسبي. وليست الأشياء (الموضوعات والأجسام) هي التي تشكل العناصر الحقيقية للعالم ـ بل إن هذه العناصر هي الألوان والأصوات والضغوط اللمسية والأمكنة والأزمنة.

وتلك عملية اقتصادية محض. ذلك لأننا نأخذ نسخ الأشياء من المركبات التي نألفها والتي تتمتع أكثر من غيرها بالاستقرار، ثم نضيف إليها، في ما بعد، وعن طريق التصحيح، المركبات التي ليست مألوفة لدينا، ولا معتادة. فإذا تحدثنا مثلاً عن اسطوانة مفرغة أو عن مكعب سطح الزوايا، وأخذنا هاتين العبارتين بمعناهما الحرفي وجدناهما تتضمنان تناقضاً، إلاّ إذا نظرنا إلى الأمور من خلال وجهة النظر التي عرضناها أعلاه. وهكذا فجميع الأحكام هي توسيع لنطاق تصور سابق أو تصحيح له.

٣ ـ عندما نتحدث عن الأسباب والنتائج، فإننا نبرز، بكيفية تعسفية، في النسخة الذهنية التي كوناها لأنفسنا عن ظاهرة ما، الظروف التي تتسلسل، حسب تقديرنا، وفي الاتجاه الذي يكتسي أهمية بالنسبة إلينا. أما في الطبيعة، فليست هناك أسباب ولا نتائج. إن الطبيعة لا تكون حاضرة إلاّ مرة واحدة. أما تكرار الحالات المتشابهة حيث ترتبط الظاهرة «أ» بالظاهرة «ب» دائماً، أي حيث ترتبط النتائج المتشابهة بالظروف المتشابهة، وهذا بشكل ما هو أساسي في علاقة السبب بالنتيجة، فذلك شيء لا يوجد إلاّ في العمليات التجريدية التي تقوم بها

قصد امتساخ الظواهر في الفكر. ولذلك فبمجرد ما يصبح الشيء مألوفاً لدينا، لا نعود في حاجة إلى ابراز تسلسل الخصائص ولا إلى توجيه انتباهنا إلى ما سيحدث من جديد، ولا إلى الكلام عن السبب والنتيجة. إننا نقول، في بداية الأمر، إن الحرارة هي سبب قوة انتشار البخار، ولكن بمجرد ما نألف العلاقة بين الحرارة والبخار، نتصور مرة واحدة، البخار وحرارته وشدته، تماماً كما هو الشأن بالنسبة إلى الحامض الذي ننظر إليه، أول الأمر، كسبب لاحمرار لون تبّاع الشمس (= التورنوسول). نتعمد، في ما بعد، إلى ادراج هذا التغيير في اللون ضمن خصائص الحامض.

٤ ـ وإذا نظرنا إلى تفاصيل العلم أو جزئياته تجلى لنا طابعه الاقتصادي بوضوح أكثر. إن العلوم الوصفية تقتصر، تقريباً، على وصف الحوادث الجزئية، وإبراز الخصائص المشتركة بين عدة ظواهر، دفعة واحدة، عندما يكون ذلك ممكناً. أما في العلوم التي بلغت درجة أعلى من التطور فإننا نلجأ إلى صياغة قواعد بناء عدد أكبر من الحوادث في قانون وحيد. فبدلاً من أن نسجل مثلاً مختلف حالات انكسار الضوء، حالة فحالة، يمكننا احداث هذه الحالات وتوقعها جميعاً عندما نعلم أن الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنكسر والعمود النازل على نقطة بداية الانكسار توجد كلها على مستوى واحد وأن $\left(\frac{\text{جاك}}{\text{جاس}} \right) = \text{ن}$[٢]. وهكذا، فبدلاً من النظر إلى ما لا يحصى من ظواهر الانكسار من زوايا مختلفة وفي أوساط متباينة[٣] لا نحتاج إلاّ إلى ملاحظة قيمة «ن» في العلاقة السابقة، وفي ذلك سهولة لا تقدر، والميل إلى الاقتصاد واضح هنا وبديهي. هذا في حين أنه لا يوجد في الطبيعة قانون للانكسار، بل توجد فقط حالات لا تحصى من هذه الظاهرة. إن قانون الانكسار طريقة للبناء، وجيز ومختصر، صنع بالشكل الذي يجعله في متناولنا، ويخص فقط الجانب الهندسي في الظاهرة.

٥ ـ والعلوم التي تتصف بهذا الطابع الاقتصادي المتطور هي تلك التي لا تهتم إلاّ بالظواهر القابلة لأن تجزأ إلى عدد قليل من العناصر تقبل أن يعبر عنها بالأعداد. وذلك مثل علم الميكانيك الذي لا يهتم إلاّ بالمكان والزمان، والكتلة والعلوم التي من هذا النوع تستفيد مما يتحقق مسبقاً من الاقتصاد في الرياضيات.

٦ ـ وتقدم لنا الفيزياء أمثلة كثيرة عن اقتصاد الفكر، وتكفي الاشارة إلى بعضها...

يجب القول، إذن، إنه لا وجود لنتائج علمية، كان يمكن الحصول عليها، مبدئياً، بدون مساعدة منهج. وبما أن الحياة قصيرة والعقل البشري محدود بحدود ضيقة، فإن المعرفة الجديرة بهذا الاسم لا يمكن تحصيلها بدون اقتصاد في الفكر واسع. والعلم نفسه يمكن اعتباره، إذن، عبارة عن مشكل الحد الأدنى، مشكل يتخلص في عرض الحوادث عرضاً واضحاً بقدر الامكان، بواسطة أقل نفقة فكرية».

---

(٢) ذلك هو قانون انكسار الضوء كما صاغه ديكارت.

(٣) المقصود بالزوايا هنا زوايا السقوط، وبالأوساط (جمع وسط) المادة التي يحصل فيها الانكسار: ماء، هواء... الخ.

٩ ـ اللاحتمية ومفهوم «الواقع»[١]
(وجهة نظر الوضعية الجديدة)

هايزنبرغ

مدرسة كوبنهاغن التي تزعمها بور، وكان هايزنبرغ، صاحب النص، أحد أقطابها، مدرسة وضعية تماماً. فعلاوة على أنها تصر على استحالة معالجة الظواهر الذرية بواسطة مفهوم الحتمية نظراً لعلاقات الارتياب، فهي تتخذ الطابع الاحتمالي للظواهر الكوانتية أساساً لنظرية تنكر اختفاء الوجود المادي الواقعي على الجسيمات الذرية. إن «الواقع» في ميدان الذرة يختلف في نظرها عن الواقع في ميدان الظواهر التي تعالجها الفيزياء الكلاسيكية، لأن مدلول كلمة «واقع» في هذا الميدان لا ينطبق على الظواهر الذرية. وكما هو واضح من النص، تلجأ الوضعية الجديدة في الدفاع عن وجهة نظرها إلى تحليل اللغة، كأن الوجود الواقعي يتوقف فقط على المفاهيم اللغوية. وتلك مظهر من مظاهر الاستغلال الايديولوجي للعلم.

«يتفق جميع أولئك الذين يعارضون وجهة نظر مدرسة كوبنهاغن في النقطة التالية: إنهم جميعاً ينادون بالرجوع إلى التصور الفيزيائي الكلاسيكي للواقع. وبعبارة فلسفية أعم، ينادون بالرجوع مجدداً إلى النزعة المادية التي تضفي وجوداً انطولوجياً على الواقع. إنهم يدعون إلى القول من جديد بعالم موضوعي واقعي تتمتع فيه أصغر الجسيمات الأولية بنفس الوجود الموضوعي الذي ننسبه إلى الأحجار والأشجار، سواء كنا نلاحظها أو لم نكن.

بيد أن هذا مستحيل، أو على الأقل ليس ممكناً تمام الإمكان، نظراً لطبيعة الظواهر الذرية.. إن مهمتنا ليست في ابداء تمنيات حول ما يجب أن تكون عليه الظواهر الذرية، بل إنها تنحصر في محاولة فهم هذه الظواهر.

هناك جملة من الاعتراضات تستند إلى فكرة «البرامترات»[٢]، الفكرة التي تقول: بما أن

---

(١) Werner Heisenberg, *Physique et philosophie; la science moderne en révolution*, traduit de l'anglais par Jacqueline Hadamard, les savants et le monde (Paris: Albin Michel, ©1961).

(٢) البرامتر Paramètre هو المتغير الوسطي الذي تحدد بقيمته قيم متغيرات أخرى. والمقصود بالبرامترات في سياق النص، العناصر الخفية المجهولة التي أهملتها معادلة علاقات الارتياب، مما نشأ عنه ذلك الطابع اللاحتمي للظواهر الذرية. (المترجم).

قوانين الميكانيكا الكوانتية لا تحدد، على العموم نتائج التجربة إلاّ بصورة احصائية، فإنه لا بد من القول - وفاقاً مع وجهة النظر الكلاسيكية - بوجود برامترات خفية تستعصي على الملاحظة أثناء التجربة، وهي التي تحدّد نتائج هذه التجربة تحديداً سببياً بالطريقة المعتادة. ولهذا السبب نجد بعض المقالات تحاول ادخال برامترات من هذا النوع في الميكانيكا الكوانتية.

من ذلك مثلاً، الرأي المخالف لوجهة نظر مدرسة كوبنهاغن والذي أدلى به مؤخراً السيد بوهم Bohm وقد تبنّاه السيد لوي دوبروي من بعض الوجوه... يرى بوهم أن الجسيمات الأولية عبارة عن بنيات ذات وجود «واقعي موضوعي» مثلها في ذلك مثل الكتلة في ميكانيكا نيوتن. ونفس الشيء يقوله عن الموجات في «المكان التصوري» L'espace de configuration فهو يرى أنها ذات وجود «واقعي موضوعي» مثلها في ذلك مثل المجال الكهربائي. ومعلوم أن «المكان التصوري» مكان ذو أبعاد كثيرة، نعبر عنها مختلف الاحداثيات الخاصة بجميع الجسيمات الأولية التي تضمها منظومة معينة. وهنا تصطدم مع أولى الصعوبات: فماذا نعنيه بالضبط عندما نقول عن الموجات في «المكان التصوري» إنها «واقعية»؟ إن «المكان التصوري» مكان موغل في التجريد. وكلمة «واقعي» تعني في الأصل اليوناني «شيء»، والأشياء توجد في المكان العادي ذي ثلاثة أبعاد ولا توجد في مكان تصوري مجرد. نعم يمكن أن نقول عن هذه الأمواج إنها «موضوعية» عندما نعني بذلك أنها أمواج لا تتوقف على الملاحظ. ولكن لا يمكن قط التعامل معها كـ «واقع»، اللهم إلاّ إذا كنا مستعدين لإدخال تغيير في مدلول هذا اللفظ.

ويحدّد بوهم، بعد ذلك، المسارات الممكنة للجسيمات الأولية بالمنحنيات العمودية على المساحات ذات «الطور الثابت»[٣] Phase Constante، ومعرفة أي من هذه المنحنيات يشكل المسار «الواقعي» للجسيم تتوقف في نظره على تاريخ المنظومة وعلى أن القياس، الشيء الذي لا يمكن البتّ فيه إلاّ بعد أن نعرف عن المنظومة، أكثر مما يمكن معرفته عنها بالفعل. إن ماضي المنظومة يشتمل فعلاً على برامترات خفية من جملتها «المسار الفعلي» الذي كانت تسلكه الجسيمات قبل البدء في التجربة.

إن لغة بوهم في الفيزياء... لا تدل على أي شيء يناقض ما تقول به مدرسة كوبنهاغن. والمسألة الوحيدة هي ما إذا كانت لغته مناسبة... وهكذا فعلاوة على الاعتراض الذي سبق الادلاء به والذي يرى أن الحديث عن مسارات الجسيمات الأولية هو نوع من الانشغال بـ «بنية فوقية ايديولوجية» لا فائدة فيها، تجب الاشارة هنا، بكيفية خاصة، إلى أن نوع اللغة التي يستعملها بوهم يقوّض التماثل La symétric الذي تقيمه الميكانيكا الكوانتية ضمنياً بين موقع الجسيم وسرعته. فإذا كان بوهم يقبل التفسير العادي بخصوص قياس الموقع فإنه يرفض هذا التفسير نفسه بالنسبة إلى قياس السرعة أو كمية الحركة. وبما أن

---

(٣) الطور في الفيزياء هو المقدار الذي يمكن من الكشف عن «حالة» منظومة تتذبذب بالنسبة إلى منظومة أخرى. (المترجم).

خصائص التماثل تشكل دوماً المميزات الأساسية للنظرية، فإنه من الصعب تبيان ما نربحه عندما نوقض تلك الخصائص في اللغة التي تتحدث بها عن هذه النظرية. ولذلك لا يمكن النظر إلى هذا الاقتراح الذي يعارض به بوهم وجهة نظر مدرسة كوبنهاغن كتعديل للتفسير الذي تقدمه هذه المدرسة.

وأخيراً فإن الانتقادات التي وجّهها إلى مدرسة كوبنهاغن كل من اينشتين وفون لو وآخرون في مقالات عديدة، تتركز كلها حول مسألة ما إذا كانت وجهة نظر مدرسة كوبنهاغن تقدم لنا وصفاً موضوعياً وحيداً للظواهر الفيزيائية. ويمكن عرض حججهم الأساسية كما يلي: إن الصيغة الرياضية للنظرية الكوانتية تقدم لنا وصفاً مناسباً تماماً للجانب الاحصائي في الظواهر الذرية. ولكن، حتى ولو كانت العبارات التي تتحدث عن المظهر الاحتمالي للظواهر الذرية صحيحة تماماً، فإن التفسير الذي تقدمه لنا مدرسة كوبنهاغن لا يصف ما يجري فعلاً، خارج مدة الملاحظة، أو خلال الفترة الزمنية التي تفصل الملاحظات بعضها عن بعض. نعم يجب أن يجري شيء ما خلال ذلك، هذا ما لا شك فيه، ولكن هذا الذي يجري ليس من الضروري تحديده بواسطة الالكترون أو الموجة أو الكوانتا الضوئية. وما دام هذا الذي يجري لم يحدد بشكل أو بآخر، فإن مهمة الفيزياء تظل قائمة. ولا يمكن أن تقبل أن المسألة لا تتعلق إلاّ بفعل الملاحظة. ففي العلم يجب عل الفيزيائي أن ينطلق من التسليم بأنه يدرس عالماً لم يصنعه هو بنفسه وأن هذا العالم سيبقى كما هو أساساً، إذا غاب العالم الفيزيائي. وبالتالي فإن وجهة نظر مدرسة كوبنهاغن لا تمدنا بتفسير كامل للظواهر الذرية.

واضح أن ما يطالب به هذا الاعتراض هو الرجوع مجدداً إلى التصور القديم، التصور الذي يعطي للواقع وجوداً مادياً انطولوجياً. فماذا يمكن أن تجيب مدرسة كوبنهاغن؟

يمكننا أن نقول: إن الفيزياء جزء من العلم، وإنها، بهذا الاعتبار ترمي إلى وصف الطبيعة وفهمها. والفهم، مهما كان، سواء كان علمياً أو غير علمي، يتوقف على اللغة التي بها تتبادل الأفكار. ووصف الظواهر أو التجارب أو نتائج هذه التجارب يعتمد بدوره على اللغة باعتبارها الوسيلة الوحيدة للتواصل. والكلمات التي تتألف منها اللغة تعبر عن المفاهيم المستقاة من الحياة اليومية، تلك المفاهيم التي يمكن أن تنقح، في اللغة العلمية لتصبح مفاهيم علمية صالحة للتعبير عن المعطيات التي تدرسها الفيزياء الكلاسيكية، فتصبح بالتالي أدواتنا الوحيدة التي تمكننا من تبادل الأفكار، بدون لبس ولا غموض، حول الظواهر وتنظيم التجارب وما يستخلص منها من نتائج.

وهكذا فإذا طلبنا من العالم الذي يبحث في ميدان الذرة أن يعطينا وصفاً لما يجري فعلاً خلال تجاربه، فإنه من الضروري أن ينتبه إلى أن كلمات «وصف» و«جرى»، و«فعلاً» لا يمكن أن تعبر إلاّ عن المفاهيم المتعلقة بالحياة اليومية أو بالفيزياء الكلاسيكية. وإذا ما حاول هذا الباحث التخلي عن هذه المفاهيم، فإنه قد لا يجد الوسيلة التي تمكنه من التعبير عن هذه المفاهيم، فإنه قد لا يجد الوسيلة التي تمكّنه من التعبير بدون صعوبة ولا لبس، كما أنه قد لا يستطيع متابعة أبحاثه العلمية. والنتيجة هي أن أي تصريح يدلي به حول «ما يجري فعلاً» لا

بد أن يكون بواسطة المفاهيم الكلاسيكية، وبالتالي سيكون ـ بسبب قوانين الديناميكا الحرارية وعلاقات الارتياب ـ ناقصاً في ذاته، عندما يتعلق الأمر بالظواهر الذرية. ذلك لأن عبارة «وصف ما يجري» بين ملاحظتين متتاليتين، على صعيد الظواهر الكوانتية عبارة تنطوي على تناقض ذاتي، لأن كلمة «وصف» هذه بالمفاهيم الكلاسيكية، في حين أن هذه المفاهيم لا يمكن أن تعبر على «ما يجري» بين ملاحظتين، بل فقط على ما يجري حين الملاحظة.

ومن هنا يتضح أن الطبيعة الاحصائية لقوانين الفيزياء الميكروسكوبية أمر لا يمكن تجنبه ولا التغلب عليه. ذلك لأن أية معرفة بـ «الواقع» هي ـ بسبب القوانين الكوانتية ـ معرفة ناقصة في ذاتها. إن النظرة المادية التي تنسب وجوداً ـ انطولوجياً ـ مادياً للظواهر ترتكز على فكرة خاطئة: وهي أن الوجود الأنطولوجي أو «الواقعية» المباشرة التي ننسبها للظواهر المحيطة بنا ـ في العالم الماكروسكوبي ـ يمكن تمطيطه ليشمل الحوادث على المستوى الذري وهذا شيء مستحيل».

١٠ ـ تكاملية بور[١]

نيلس بور

ندرج في ما يلي مجموعة النصوص للفيزيائي الكبير نيلس بور، زعيم المدرسة الابستيمولوجية الوضعية المعروفة باسم مدرسة كوبنهاغن. إن ما يميز هذه المدرسة هو دفاعها المستميت عن اللاحتمية في العلم وإبراز دور القياس وأدواته في تشكيل نتائج التجربة. وإذا كان هذا يشكل أحد المعطيات العلمية في مرحلة معينة من تطور العلم، وإذا كانت المعرفة العلمية، في الميدان الميكروسكوبي خاصة، تكتسي طابعاً احتمالياً، مما يجعلها معرفة نسبية احصائية، فإنه من المفارقات العجيبة أن تصرّ مدرسة كوبنهاغن على أن هذا الطابع الاحتمالي النسبي يكتسي صبغة الحقيقة النهائية. أما نيلس بور فهو إلى جانب دفاعه عن المقولات الأساسية التي تعتمدها مدرسة كوبنهاغن في ميدان المعرفة العلمية على المستوى الميكروسكوبي، لم يتردد في مد وتمطيط بعض المفاهيم الفيزيائية الحديثة إلى ميادين أخرى بيولوجية وسيكولوجية واجتماعية وحضارية، كما سنرى في النصوص الملحقة بالنص الأساسي. لقد اتخذ من مفهوم «التكاملية» مفتاحاً لجميع المشاكل، مفتاحاً يعترف بالتناقض ولكنه يجمده في «التكامل».

«إن ما يميز النظرية الكوانتية هو أنها جرت، بشكل أساسي، من صلاحية مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية في معالجة الظواهر الذرية، الشيء الذي نتج منه وضع خاص، بعض الشيء، يتمثّل في تلك الصعوبة التي تعترضنا عندما نحاول التعبير عن محتوى هذه النظرية بالمفاهيم الكلاسيكية التي يتوقف عليها، أساساً، فهمنا لمعطيات التجربة. ومع ذلك، يبدو أنه من الممكن ـ كما سنرى في ما بعد ـ التعبير عما هو أساسي في هذه النظرية بواسطة «المسلمة الكوانتية» التي تنص على أن جميع العمليات والتطورات التي تتم في العالم الذري تكتسي طابع المنفصل أو على الأصح، طابع الفردية. وهو طابع لم تعرفه قط النظريات الكلاسيكية، ويتميز بتدخل كوانتوم الفعل الذي اكتشفه بلانك.

إن هذه المسلمة تضطرنا إلى التخلي عن تطبيق السببية والتحديد المكاني ـ الزماني مجتمعين، في آن واحد، عندما نريد وصف الظواهر الذرية. ومعلوم أن وصف الظواهر

(١) انظر في آخر كل نص المصدر الذي أخذناه منه.

الطبيعية، كما اعتدنا أن نقوم به، يعتمد في نهاية التحليل، على اعتقادنا في أن عملية الملاحظة لا تغير في شيء جوهر الظاهرة التي ندرسها. والنظرية النسبية التي ساهمت بشكل واسع في إضفاء مزيد من الوضوح والدقة على النظريات الكلاسيكية قد عملت من جهتها على تأكيد هذا الاعتقاد. فإذا كان اينشتين قد لاحظ أن أي قياس أو ملاحظة نقوم بهما، يتوقفان على تزامن الحوادث، أي حدوث حادثين مستقلين في نقطة واحدة من المكان ـ الزمان، فإن تزامن الحوادث هذا لا يؤثر فيه ما قد يكون هناك من اختلاف بين الملاحظين في تقدير الزمان والمكان.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى تنص المسلمة الكوانتية على أن أية ملاحظة نقوم بها في الظواهر الذرية، لا بد أن تؤدي إلى نوع من التداخل والتفاعل بين الظاهرة المدروسة وأدوات القياس، وبالتالي يصبح من غير الممكن اعتبار الظواهر وأدوات القياس كأشياء تتمتع بوجود واقعي فيزيائي مستقل، بالمعنى العادي للكلمة. والواقع أن مفهوم الملاحظة ينطوي على عنصر اعتباطي. ذلك لأنه يتوقف أساساً على اختيار موضوعات يعتقد فيها أنها تشكل جزءاً من المنظومة موضوع الملاحظة والدرس. أضف إلى ذلك أن الملاحظة، أية ملاحظة، ترتد، في نهاية التحليل، إلى ادراكاتنا الحسية. وبما أن تأويل الملاحظات، اعطاءها تفسيراً ما، يتطلب دوماً استعمال مفاهيم نظرية، فإن اختيار لحظة معينة دون غيرها، أثناء وصفنا للظواهر، اللحظة التي ندرج خلالها مفهوم الملاحظة ومعه ذلك التصور «اللامعقول» المرتبط بالمسلمة الكوانتية، إنما يخضع للظروف الملائمة التي تختلف من حالة إلى أخرى.

يلزم مما تقدم نتائج مهمة. فمن جهة، لا بد عند تحديد حالة منظومة فيزيائية، بواسطة المفاهيم العادية، من غض الطرف عن كل تدخل خارجي. وهذا بالضبط، ما يؤدي، طبقاً لمقتضيات المسلمة الكوانتية، إلى القضاء قضاء مبرماً على كل امكانية للملاحظة، وبالخصوص إلى افراغ المكان والزمان من معناه المباشر. ومن جهة أخرى لا بد من التسليم بوجود تفاعل بين المنظومة المدروسة وأدوات القياس المتخصصة ـ وهي لا تشكل جزءاً من تلك المنظومة ـ لكي تصبح التجربة ممكنة. وهذا بالضبط ما يجعل من المستحيل علينا، بسبب طبيعة الأشياء نفسها، اعطاء تعريف وحيد الدلالة لحالة تلك المنظومة، وهذا أيضاً ما يجعل السببية، بمعناها العادي تصبح غير ذات موضوع.

وإذن فنحن ملزمون، ازاء هذه النتائج، بإجراء تعديل جذري على فهمنا للعلاقة بين الوصف المكاني ـ الزماني وبين السببية. إن الوصف المكاني ـ الزماني (= أي التحديد في الزمان والمكان) من جهة والسببية من أخرى، يرمزان بالتتابع إلى ما يعطي لكل من الملاحظة والتحديد صورتها النموذجية. ومعلوم أن الجمع بينهما خاصية مميزة للنظريات الكلاسيكية، هذا في حين أن جوهر النظرية الكوانتية نفسها يفرض علينا الاكتفاء فقط بالنظر إليهما بوصفهما مظهرين متكاملين، وفي ذات الوقت ينفي أحدهما الآخر. إنهما مظهران يتكامل بهما تصورنا للنتائج التجريبية.

وهكذا فإذا كان حدسنا للظواهر، وهو يعتمد في آن واحد على مبدأ السببية والتحديد

المكاني - الزماني، حدس مكيّف مع هدفه، فإن النظرية الكوانتية قد كشفت لنا عن أن السبب في ذلك إنما يرجع إلى ضآلة تأثير كوانتوم الفعل إذا ما قيس بأنواع التأثيرات الأخرى التي تفعل فعلها في ادراكاتنا الحسية العادية، تماماً مثلما أن نظرية النسبة قد كشفت لنا عن أن ذلك الفصل التام الذي تقوم به حواسنا بين الزمان من جهة، والمكان من جهة ثانية، إنما يرجع بدوره إلى ضآلة السرعات النسبية العادية بالقياس إلى سرعة الضوء.

نخلص مما تقدم إلى أن وصف الظواهر الذرية حسب مقتضيات المسلمة الكوانتية، يتطلب منا انشاء «نظرية تكاملية» تعالج فيها مسألة عدم التناقض بمواجهة امكانيات التعريف مع امكانيات الملاحظة. إن هذا التصور التكاملي يفرض نفسه أيضاً في مجال آخر يبرز فيه الطابع المزدوج للظواهر قبل بروزه في ميدان الكوانتا. نقصد بذلك الضوء والجسيمات المادية الأولية. لقد سبق للنظرية الكهرطيسية أن قدمت وصفاً مرضياً لانتشار الأشعة الضوئية في الزمان والمكان، كما تمكن مبدأ تراكب الأمواج من تفسير ظواهر التداخل في الفراغ والخصائص الضوئية للمادة، سواء بسواء، تفسيراً واضحاً شاملاً. غير أن التعبير الدقيق عن حفظ الطاقة وعن ذبذبات التداخل بين المادة والاشعاع كما ظهرت في الظاهرة الضوئية الكهربائية وفي مفعول كامتون، استلزم اللجوء إلى فكرة الفوتون كما صاغها اينشتين. هذا التناقض الظاهري (= بين التفسير بالاتصال والتفسير بالانفصال) أدى، في وقت من الأوقات، إلى اثارة الشكوك حول مبدأ التراكب، وحول صحة نظريات الطاقة والدفع. ولكنها شكوك سرعان ما تبدّدت بفضل التجارب المباشرة.

لقد أثبتت هذه التطورات استحالة وصف الظواهر الضوئية وصفاً يعتمد في آن واحد، السببية والتحديد المكاني - الزماني. إن المسلمة الكوانتية تفرض علينا الاقتصار على الوصف الاحصائي عندما ندرس قوانين انتشار النشاط الاشعاعي في المكان والزمان. أما إذا أردنا تطبيق مبدأ السببية على الظواهر الضوئية الفردية، فإن كوانتوم الفعل الملازمة لهذه الظواهر، يفرض علينا، بالعكس من ذلك، التخلي عن التحديد المكاني - الزماني، والأمر هنا لا يتعلق أبداً بالاختيار بين شيئين مستقلين: إما السببية، وإما التحديد الزماني - المكاني، كلا، فالمسألة بالعكس من ذلك تماماً، فالتصور الموجي والتصور الجسيمي لطبيعة الضوء، يشكلان محاولتين يقصد منها تكييف الظواهر التجريبية مع حدسنا في صورته العادية، محاولتين تجد فيها المفاهيم الكلاسيكية نوعين من التعبير متكاملين.

أما بالنسبة إلى الجسيمات المادية، فإن الدراسات التي تناولت خصائصها كشفت هي الأخرى عن نتائج مماثلة. هناك تجارب عديدة معروفة أثبتت فردية الجسيمات الكهربائية الأولية. غير أن تفسير النتائج المختلفة التي تمّ التوصل إليها مؤخراً في هذا المجال، وخصوصاً منها انعكاس الالكترونيات على البلورات المعدنية بطريقة انتقائية، يتطلب هو الآخر اللجوء إلى مبدأ تراكب الأمواج كما بيّن ذلك لوي دبريي. وهكذا نجد أنفسنا هنا أمام نفس الوضعية التي واجهتنا قبل، في ميدان الضوء.

والنتيجة هي أنه لا بد أن نجد أنفسنا أمام مأزق حرج إذا نحن تمسّكنا بالمفاهيم

الكلاسيكية، فلا مناص لنا من اعتبار هذا المأزق واقعة تعبر تعبيراً دقيقاً عن نتائج تحليل المعطيات التجريبية. فالمسألة هنا لا تعني وجود تناقض، بل الأمر يتعلق بتصورين متكاملين يشكلان، مجتمعين، تعميماً طبيعياً لطريقة الوصف الكلاسيكية. ويجب أن لا يغيب عن أذهاننا عند مناقشة هذه القضايا من وجهة النظر التي ندافع عنها هنا، أن الاشعاع في الفراغ وكذا الجسيمات المادية المتفردة ليست في واقع الأمر سوى تصورات تجريدية، لأن خصائص ذلك الاشعاع وخصائص هذه الجسيمات لا يمكن تحديدها أو ملاحظتها معزولة. وإنما يمكن ذلك، فقط خلال تفاعلها مع منظومات أخرى حسب ما تنص عليه المسلمة الكوانتية. ومع ذلك، فهذه التصورات التجريدية ضرورية لجعل النتائج التجريبية في متناول حدسنا كما هو في صورته العادية.

لقد قامت مناقشات كثيرة، منذ وقت طويل، حول الصعوبات التي تحول دون تطبيق السببية والتحديد المكاني ـ الزماني في اطار النظرية الكوانتية. ولقد تمّ مؤخراً ابراز هذه الصعوبات باستعمال طرائق رياضية رمزية. وقد ناقش هيزنبرغ عدم تناقض هذه الطرائق في أعمال قام بها مؤخراً، وفي هذا المجال بكيفية خاصة على وجود نوع من اللاتحدد يؤثر في قياس جميع المقادير الذرية»[٣].

«... إن مراجعة أسس الميكانيكا بالصورة التي شرحناها، والتي تذهب إلى حد نقد فكرة التفسير الفيزيائي نفسها، لا تقتصر أهميتها الحاسمة على إضفاء الوضوح على النظرية الذرية، بل إنها حددت، فضلاً عن ذلك، جدول أعمال أولي لمناقشة مشاكل البيولوجيا من وجهة النظر الفيزيائية. إن هذا لا يعني قط أننا نجد في الظواهر الذرية ما يشبه خصائص الأجسام الحية بأوسع مما نجده في النتائج الفيزيائية العادية... ولكن يجب أن نتذكر أن القوانين الخاصة بالعمليات والتطورات الذرية التي لا تقبل الوصف السببي الميكانيكي، وتقبل فقط وصفاً تكاملياً، هي ـ أي القوانين ـ ضرورية، على الأقل، لفهم آلية الحياة، بمثل ما هي ضرورية لتفسير خصائص الأجسام المتعضية...

... ولكن يجب أن ننتبه إلى أن الشروط التي تتم فيها الأبحاث البيولوجية، والشروط التي تجري فيها الأبحاث الفيزيائية ليست قابلة للمقارنة بكيفية مباشرة، ذلك لأن ضرورة الحفاظ على الحياة في الأبحاث الأولى تستلزم الوقوف في البحث عند حد معين، الشيء الذي لا تتقيد به الأبحاث الثانية. إننا سنقتل الحيوان، بكل تأكيد، إذا نحن حاولنا الذهاب بعيداً في دراسة حواسه إلى الحد الذي يمكننا من تحديد دور الذرات الفردية في وظائفه الحياتية. والنتيجة هي أنه لا بد في كل تجربة نجريها على الكائنات الحية من وجود نوع من الارتياب حول الشروط الفيزيائية التي تخضع لها هذه الكائنات. وهذا ما يحملنا على القول بأن ذلك الحد الأدنى من الحرية الذي نحن ملزمون بمنحه للأجسام الحية ـ عند اجراء التجارب

---

(٣) Niels Henrik David Bohr, *La Théorie atomique et la description des phénomènes,* quatre articles procédés d'une introduction par Niels Bohr; traduction: André Legros et Léon Rosenfeld (Paris: Gauthier-Villars et cie, 1932), pp. 50-54.

عليها ـ يكفي تماماً لجعل هذه الأجسام تخفي عنا، بشكل من الأشكال، أسرارها الأخيرة.

ومن هذه الوجهة من النظر يجب أن ننظر إلى وجود الحياة كواقعة أولية لا يمكن تأسيسها على أية واقعة أخرى، ومن ثمة يجب أن نتخذها كنقطة انطلاق البيولوجيا، تماما مثلما أن وجود كوانتوم الفعل، ذلك المظهر اللاعقلي من وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية، يشكل هو والجسيمات الأولية، القاعدة الأساسية التي ترتكز عليها الفيزياء الذرية. إن أطروحتنا التي تقول باستحالة تفسير الوظائف الحيوية تفسيراً فيزيائياً ـ كيميائياً، يمكن بهذا المعنى أن يقايس بينها وبين الأطروحة التي تقول بعدم كفاية التحليل الميكانيكي لفهم استقرار الذرات...»[٣].

«... ومهما بدا لكم أن هذا التطور الذي عرفته الفيزياء لم يكن متوقعاً، فأنا متأكد من أن كثيراً منكم قد انتبهوا إلى التشابه الواسع بين الوضعية التي تعرفها دراسة الظواهر الذرية حالياً، كما سبق أن وصفتها، وبين المظاهر الخاصة بشكل الملاحظة في علم النفس. والواقع أننا لا نجافي الصواب إذا قلنا إن ما يميز علم النفس الحديث هو أنه جاء كرد فعل ضد المحاولات التي تقوم بتجزئة التجربة السيكولوجية إلى عناصر أولية يمكن جمعها بعد ذلك كما تجمع معطيات القياس في الفيزياء الكلاسيكية. بديهي أنه من المستحيل الفصل في الاستبطان فصلاً واضحاً، بين الظواهر النفسية التي تشكل الوعي، وبين ادراك الوعي لهذه الظواهر. وعلى الرغم من أننا نقول أحياناً إن انتباهنا مركز كله حول مظهر معين من مظاهر التجربة السيكولوجية، دون غيره، فإن الفحص الدقيق سرعان ما يكشف أن الأمر يتعلق بوضعيتين تنفي إحداهما الأخرى. إننا نعرف جميعاً ـ وهذا ما عرفناه منذ وقت طويل ـ أننا عندما نحاول تحليل انفعالاتنا الخاصة تكفّ فوراً عن الإحساس بها. وعلينا أن نعترف بأن ثمة بين التجارب النفسية التي يتطلب وصفها استعمال كلمات مثل «أفكار» و «عواطف» علاقة تكامل شبيهة بتلك التي نجدها بين التجارب على الظواهر الذرية...

لنفحص الموضوع بدقة أكثر، ولنتناول الأصداء التي يمكن أن تتردد لهذه الوجهة من النظر في مجال مقارنة الثقافات البشرية المختلفة. ولنشر أولاً إلى العلاقة التكاملية الواضحة القائمة بين المظاهر التي نسميها «غريزة» والمظاهر التي نسميها «عقل» في سلوك الكائنات الحية...

وإذا نحن قارنا بين الغريزة والعقل، فإنه من الضروري الاشارة إلى أنه لا توجد أية فكرة ـ في المستوى البشري ـ دون اطار من المفاهيم المشيّدة بواسطة لغة يجب على كل جيل أن يتعلمها من جديد. ولا تعمل هذه المفاهيم على تنحية جزء كبير من الحياة الغريزية فقط، ولكنها أيضاً تدخل في علاقة تكامل مع السلوك الغريزي الموروث بشكل يجعل كل جانب من هذين الجانبين ينفي أحدهما الاخر...

(٣) Niels Henrik David Bohr, «Lumière et vie,» (conférence de 1932) dans: *Physique atomique et connaissance humaine*, traduction: Bauer et R. Omnes (Paris: Gauthier-Villars, 1972), pp. 7-11.

وكما قلت سابقاً فإن نظرية النسبية يمكن أن تفيدنا افادة كبرى. فهي تحملنا على النظر بأكثر ما يمكن من الموضوعية إلى العلاقات القائمة بين مختلف الثقافات (= الحضارات)، البشرية، والتي تشبه الاختلافات التقليدية القائمة بينها، من عدة وجوه، مختلف الطرق المتكافئة (= المنظومات المرجعية) التي يمكن أن توصف بها التجارب الفيزيائية. ومع ذلك فإن هذه المقايسة بين مشاكل العلوم الفيزيائية والعلوم الانسانية لها مجال تطبيقي محدود. ولقد أدت المبالغة فيها إلى اغفال جوهر نظرية النسبية ذاتها. ذلك لأن وحدة التصور النسبي تستلزم - بالضبط - أن يكون في امكان كل مراقب أن يتوقع ويتنبأ، في اطار تصوره الخاص كيف سيعمل ملاحظ آخر على تحديد تجربته داخل الإطار الخاص به. إن العائق الأساسي الذي يحول دوننا ودون النظر إلى العلاقات بين مختلف الثقافات نظرة خالية من كل حكم مسبق، هو تلك الاختلافات العميقة بين الأرضيات والخلفيات التي تؤسس، في كل مجتمع، وحدة الموقف من الحياة، وهي اختلافات تمنع كل مقارنة بسيطة بين هذه المواقف.

في هذا السياق تبرز وجهة النظر التكاملية، قبل غيرها، كوسيلة تمكن من السيطرة على الوضعية. ذلك لأنه عندما ندرس الثقافات التي تختلف عن ثقافاتنا، نجد أنفسنا أمام مشكل خاص، من مشاكل الملاحظة، مشكل يبدو، عندما ننظر إليه عن قرب، قريب الشبه جداً بالمشاكل الذرية أو السيكولوجية التي يحول فيها التداخل بين الموضوع وأدوات القياس، أو عدم امكانية الفصل بين المحتوى الموضوعي والذات الملاحظة، دون التطبيق المباشر للمواضعات اللغوية التي كيفت مع تجاربنا اليومية.

وكما أننا نستعمل في الفيزياء الذرية مفهوم التكاملية للتعبير عن العلاقة التي تقوم بين حوادث التجربة المحصّل عليها بواسطة تأليفات تشبيهية قياسية مختلفة، تلك العلاقات التي لا يمكن وصفها حدسياً إلّا بواسطة صور ينفي بعضها بعضاً، فكذلك يحق لنا النظر إلى الثقافات المختلفة بوصفها ثقافات متكاملة في ما بينها...»[4].

(٤) Niels Henrik David Bohr, «Le Problème de la connaissance en physique et les cultures humaines,» papier présenté à: Congrès international d'anthropologie et d'ethnologie, 1938, p. 35.

١١ ـ المكان والزمان في الفيزياء الحديثة[1]

لوي دوبروي

يعالج لوي دوبروي في هذا النص بعض النتائج الابيستيمولوجية التي أسفرت عنها الأبحاث الفيزيائية في ميدان الذرة، خاصة تلك التي أدى إليها اكتشاف عدم امكانية التحديد الدقيق للظواهر الذرية تحديداً يتناول في آن واحد موقع الشيء وسرعته. إن ارتباط تحديد الموقع بتحديد السرعة (أي كمية الحركة) يعني ارتباط وجود الجسم بالزمان والمكان ارتباطاً خاصاً وبالتالي استحالة اعتبار الزمان والمكان اطارين مستقلين عن الأشياء الموجودة فيهما. فإذا كنا نستطيع أن نتصور المكان خلواً من الأشياء والزمان خلواً من الحوادث، على مستوى الحياة البشرية العادية، وبالتالي نتصور المكان والزمان كإطارين قبليين، كما قال كانت، فإن هذا غير ممكن تماماً على المستوى الذري. النص كله يدور حول هذه المسألة.

«عندما بدأت العلوم الفيزيائية تنمو وتتقدم بطريقة علمية كانت التفسيرات التي تقترحها الظواهر الطبيعية تنطلق من المفاهيم والتصورات التي تمدّنا بها الحياة الجارية، والتي أصبحت تبدو لنا، بفعل تعوّدنا عليها كمفاهيم وتصورات حدسية. وليس هناك شك في أن التقدم المطرد الذي عرفته النظرية الفيزيائية بفضل استعمال التحليل الرياضي قد جعل العلوم الفيزيائية لا تحتفظ من الصور المستوحاة من الحياة اليومية إلا بأشكال خالية من كل لون. وهكذا فإذا كانت فكرة الجسيم تتمثل في الحدس العلمي كجسم صغير ذي شكل ولون وبنية، كما هو الحال بالنسبة إلى كرة صغيرة من الرصاص أو لحبة من الرمل مثلاً، فإن النظرية الفيزيائية لم تحتفظ من هذه الصورة المشخصة جداً، إلا بصورة تخطيطية لشيء صغير يشغل حيزاً، هو عبارة عن نقطة مادية. لقد كان عليها أن تبعد من مجال تصورها الصفات المميزة، كاللون، وأن تترك الشكل والبنية غير واضحين في الغالب. وكذلك الشأن في القوة: فمن المعنى المشخص الذي نعبر به عن المجهود الذي تقوم به إحدى عضلاتنا من أجل نقل جسم من مكان إلى آخر استخلصت النظرية الفيزيائية مفهوم القوة التي تمثل لها رياضياً بتجهه (فيكتور Vecteur)، الشيء الذي يدلّنا على مدى ما حصل في هذا المجال من تقدم

(1) Louis de Broglie, *Continu et discontinu en physique moderne* (Paris: Albin Michel, 1949), pp. 66-72.

على صعيد التجريد. وهكذا فباستخلاص المفاهيم الأساسية من الواقع المعاش، بواسطة عمليتي الاختزال والتجريد، تمكنت الفيزياء الرياضية، في مرحلتها الكلاسيكية التي تمتد من بدء النهضة إلى القرن العشرين، من بناء ذلك الصرح الجميل الذي نعرفه جميعاً. وليس ثمة شك في أن الفيزياء الرياضية هذه قد اضطرت إلى عدم العناية بالمظهر الكيفي للظواهر، فتركته غامضاً ملتبساً، ولكنها ـ في مقابل ذلك ـ كانت قادرة تماماً على التنبؤ الصحيح بالحوادث الفيزيائية التي تجري في المستوى البشري. وهكذا تمّ التوصل، بواسطة الاختزال التجريدي للمفاهيم المستخلصة من الحياة البشرية الجارية، إلى بناء نظرية فيزيائية كانت تبدو قادرة على وصف الظواهر التي ندركها مباشرة، وصفاً تاماً.

ولقد كان من بين الوقائع الأساسية التي سجلت بداية التقدم الهائل الذي عرفته الفيزياء منذ نصف قرن[2]، هو أنها ركّزت اهتماماً كما نعرف، على دراسة الظواهر على المستوى الذري. وبمقدار ما كانت التجارب الدقيقة تسمح بالنفاذ أكثر فأكثر إلى هذا الميدان ـ الذري ـ والكشف فيه عن حوادث غريبة وغير متوقعة، بمقدار ما أخذ المنظرون يجتهدون في تمطيط الأفكار وطرق الاستدلال، التي حققت نجاحاً كبيراً على المستوى الميكروسكوبي، لتشمل هذا الميدان الجديد. ويبدو أنهم لم يكونوا يرتابون، بدافع الغرور بلا شك، في امكانية القيام بهذا التمطيط. وحتى سنة ١٩١٣، أي في وقت كان لا بد فيه من أن يحمل اكتشاف الكوانتا، ووضوح أهميتها البالغة، المعنيين بالأمر، على التزام بعض الحذر، كان معظم الفيزيائيين الذين تحمسوا، وهم على حق، للنموذج الذري الذي قال به بور، يتصرفون وكأنهم يسلمون بهذا النموذج تسليماً حرفياً، إذا صح القول. لقد كانوا يتصورون، وربما مع شيء من السذاجة، أن الالكترونات الدقيقة تدور فعلاً وواقعياً، داخل الذرة حول نواة موجبة مركزية، وعلى مسارات مضبوطة، وحسب قوانين الحركة هي من جنس القوانين التقليدية المعمول بها في الميكانيكا الكلاسيكية. وكما هو معروف، فلقد رفضت هذه الالكترونات السابحة داخل الذرة أن ترسم مسارات أخرى غير تلك التي تسمح لها بها قواعد الكوانتا. ولم يكن ينظر إلى هذا إلاّ كمجرد استثناء لامكانات التوقع التي تتوفر عليها الميكانيكا الكلاسيكية، استثناء لا يستلزم قط مراجعة قوانينها وتصوراتها. ومن الغريب أن السيد بور كان هو نفسه أول من أحس بضرورة التحفظ من النموذج الذي اقترحه. لقد أدرك منذ البداية أن بعض خصائص هذا النموذج تشير إلى ضرورة القيام بمراجعة كاملة للمفاهيم الكلاسيكية: إن وجود «حطات قارة»[3] في الذرة، موضوعة بشكل ما خارج الزمان، ثم إن استحالة تتبع القفزات الفجائية التي تجعل الذرة تنتقل من «حالة قارة» إلى أخرى مماثلة، كل ذلك قد أوحى له بفكرة عميقة مؤداها أن الوصف الكامل للظواهر الكوانتية على المستوى الذري يتطلب، من بعض الوجوه على الأقل، تجاوز الاطار الكلاسيكي للمكان والزمان والتعالي عليه. إن جميع مراحل التقدم التي عرفتها، حديثاً،

---

(٢) كتب لوي دوبروي هذه المقالة في بداية الأربعينيات من هذا القرن.

(٣) انظر الفصل الأخير من هذا الكتاب.

النظريات الكوانتية تؤكد هذا الحدس، وتكشف عن أن المفاهيم الأساسية، التي تقوم عليها الفيزياء الكلاسيكية، ليست مؤهلة، بدرجة كافية لوصف الظواهر على المستوى الذري، وصفاً ميكروسكوبياً.

والحق أنه كان من قبيل المجازفة وعدم التروي الاعتقاد بأن التصورات المستخلصة من تجاربنا الحسية يمكن أن تصلح بتمامها، وفي الحين، للاستعمال في مستوى يختلف اختلافاً كبيراً عن مستوى ادراكنا الحسي، لقد كان من الواضح مسبقاً أن مفهوم الجسيم الذي تصوره كأقصى ما يمكن الحصول عليه بالتجريد من حبة الرمل، وأن مفهوم القوة الذي تصوره كأقصى ما يمكن الحصول عليه بالتجريد من المجهود العضلي أو من توتر الزنبرك، لقد كان واضحاً أن مثل هذه المفاهيم لا يمكن أن تمثل شيئاً حقيقياً داخل الذرة. غير أن الشيء الأساسي، الذي لم يكن متوقعاً قط، والذي كشف عنه تقدم الباحث في ميدان الكوانتا، هو أن مفهوم المكان ومفهوم الزمان، مثلهما مثل مفهوم الجسيم ومفهوم القوة لا ينطبقان بدورهما، انطباقاً تاماً، على الظواهر الميكروسكوبية. إن فكرة المكان الفيزيائي ذي ثلاثة أبعاد، والذي يشكّل إطاراً طبيعياً تتموضع فيه جميع الظواهر الفيزيائية، ثم إن فكرة الزمان الذي يتشكّل من تتابع اللحظات، والذي نتصوره متصلاً ذا بعد واحد، هما فكرتان مستخلصتان من التجربة الحسية، بواسطة عمليات التجريد والاختزال مماثلة لتلك التي تقودنا من حبة الرمل إلى النقطة المادية أو من المجهود العضلي إلى القوة. ومن دون شك، لقد سبق للنظرية النسبية أن كشفت لنا عن أن المكان والزمان في اطار وحيد ذي أربعة أبعاد، هو اطار المكان ـ الزمان، وأن تفكيك هذا الاطار الوحيد إلى مكان وزمان منفصلين، أمر يتعلق بكل ملاحظ. ومع ذلك، وعلى الرغم من تلك الدقة التي عرفتها الفيزياء قبل الكوانتية في قمة تطورها، فإن موضعة الأشياء في المكان والزمان، بتعيين موقعها وتحديد لحظة حدوثها، كانت ما تزال تحتفظ بالنسبة إلى كل ملاحظ بمعنى واضح تمام الوضوح. إن هذا لم يعد ممكناً في الفيزياء الكوانتية حيث يظهر جلياً أن اطار المكان ـ الزمان (الذي قالت به نظرية النسبية) يفقد هو نفسه في المستوى الذري جزءاً من قيمته. لقد أنشأنا هذا الاطار في أذهاننا انطلاقاً من دراسة الظواهر التي نلاحظها مباشرة حولنا، من تلك الأشياء المألوفة لدينا بسبب كونها في مستوى حياتنا البشرية. فبواسطة أشياء من هذا النوع كالمتر والساعة، نقيس احداثيات المكان والزمان. غير أن الظواهر التي نلاحظها بكيفية مباشرة، هي في الواقع ظواهر احصائية دوماً، ظواهر تتشكل مظاهرها وتجلياتها من عدد هائل من الظواهر الذرية الأولية. إن الأشياء المألوفة لدينا هي دوماً أجسام ثقيلة جداً بالنسبة إلى الجسيمات الأولية التي تتألف منها المادة، إنها أجسام ذات كتل كبيرة جداً إلى درجة أن كوانتوم العمل لا يساوي شيئاً إزاءها. ولذلك كان اطار المكان والزمان (الفيزياء الكلاسيكية مبنية ضمنياً على هذه الملاحظة) الذي انشأته أذهاننا لتسكن فيه الظواهر والأشياء التي هي في مستوى حياتنا البشرية، يبدو كما لو أنه اطار مستقل عن تلك الظواهر والأشياء التي تحتل فيه حيزاً. هذا ما جعل اطار المكان والزمان يبدو لنا، في نهاية الأمر، كإطار ذهني مستقل عن محتواه، وذلك إلى درجة أننا أصبحنا نتصور هذا الاستقلال كشيء أكيد وطبيعي تماماً، مما حملنا على اعتبار مفهوم المكان ومفهوم الزمان كفكرتين قطريتين قبليتين.

أما اليوم وعلى ضوء النظريات الكوانتية، فيبدو أنه من الضروري العدول عن هذا التصور عدولاً تاماً. ففي مستوى الظواهر الذرية، وهو مستوى دقيق جداً إلى درجة لا يجوز معها اهمال تأثير كوانتوم العمل، يصبح التحديد الدقيق للشيء في المكان والزمان غير ممكن بدون الأخذ بعين الاعتبار الخصائص الدينامية لذلك الشيء، وبالأخص منها كتلته. فإذا أمكن أن نتخيل ملاحظاً ميكروسكوبياً (والواقع أنه لا يمكننا ذلك، لأنه كيف ستكون أعضاؤه الحسية) يقوم بأبحاثه داخل منظومة ذرية، فإن مفهومي الزمان والمكان ربما لن يكون لهما بالنسبة له أي معنى، أو على الأقل لن يكون لهما بالنسبة إليه نفس المعنى الذي لدينا نحن عنهما. ولكننا نحن البشر، نحن الذين لا نستطيع أن نلاحظ سوى انعكاس النشاط الذري على الظواهر التي على المستوى البشري، نحن الذين نضطر إلى موضعة ملاحظاتنا في اطار المكان والزمان، وهذا شيء طبيعي تماماً، نعمل على بناء نظرياتنا حول الظواهر الذرية والكوانتية في هذا الإطار الذي ألفناه والذي لا نتصور قط امكانية الاستغناء عنه استغناء تاماً. إن رغبتنا في ادخال هذه الظواهر الأولية في اطار المكان والزمان، الاطار الذي لا يصلح فعلاً إلا عندما يتعلق الأمر بوصف احصائي يعتمد على المتوسطات الحسابية لعدد هائل من هذه الظواهر؛ إن رغبتنا تلك، قد جعلتنا نصطدم بـ «علاقات الارتياب» المشهورة التي صاغها هيزنبرغ. إن هذه العلاقات التي هي بمثابة العلامة التي تشير إلى الحدود الفاصلة بين قطاعين، قد جاءت لترسم حداً لصلاحية المفاهيم القديمة التي ألفناها واعتدناها، ثم لتمنعنا من التمسك بذلك الاستقلال الذي كان يبدو لنا واضحاً، استقلال الزمان والمكان عن الخصائص الدينامية للكيانات الفيزيائية.

إن الفيزياء الكوانتية الحقيقية ستكون بدون شك فيزياء يكون في امكانها، بتخليها عن فكرتي الموقع واللحظة الزمنية، والشيء، وجميع ما يشكل حدسنا العادي أن تنطلق من مفاهيم وفرضيات كوانتية محض. وبارتفاعها بعد ذلك، إلى الظواهر الاحصائية على المستوى الماكروسكوبي، ستكشف لنا عن الكيفية التي يمكن بها أن ينبثق من الواقع الكوانتي على المستوى الذري، وبواسطة حساب المتوسطات اطار المكان ـ الزمان الصالح على المستوى البشري. ولكن هذه الفيزياء ليست، بدون شك، على قاب قوسين أو أدنى، انها ستكون بعيدة عن حدوسنا الحسية إلى درجة يصعب معها علينا أن نتصور كيف يمكن البدء في انشائها اليوم مع بعض الحظوظ في النجاح».

١٢ ـ النزعة الاجرائية: التزامن في نظرية النسبية[1]

بريدغمان

فتحت نظرية النسبية، مثلها في ذلك مثل النظرية الكوانتية مجالاً واسعاً لمراجعة المفاهيم العلمية ونقدها، مما أدى إلى قيام اتجاهات ابستيمولوجية جديدة، ومحاولة الاتجاهات القديمة استغلال الكشوف العلمية لفائدتها. والنزعة الاجرائية Opérationnisme التي تزعّمها الفيزيائي الأمريكي بريدغمان (١٨٨٢ ـ ١٩٦١) من الاتجاهات الوضعية الجديدة في ميدان الفيزياء ولعلها أكثر الاتجاهات الوضعية تطرفاً. ذلك لأنه إذا كانت النزعة الوضعية عموماً لا تعترف إلاّ بالظواهر، فإن النزعة الاجرائية لا تعترف إلاّ بالظواهر التي تقبل القياس. والمعرفة العلمية في تصورها نسبية وغير يقينية. وهي تلح على أن تكون مفاهيم العلم مفاهيم اجرائية، يعني أنها لا تقدم أية معرفة ولا أي يقين عن الواقع إلاّ ما كان منها يتوفر على مناظر له في التجربة، وبالتالي فهي مفاهيم تبين طريقة القياس لا ماهية الشيء الذي يقيسه. وكذلك التعريف الاجرائي، فهو تعريف يبين الطريقة التي تحدد بها الشيء أو نتعرف بواسطتها على علاقاته بغيره من الأشياء المماثلة، لا حقيقته كشيء في ذاته.

وبما أن الفيزيائي ـ المعاصر ـ مقتنع بأنه يستحيل عليه، استحالة مطلقة، التنبؤ بما يتجاوز مجال تجربتنا الراهن، فإنه يتحتم عليه، إذا أراد تجنّب مراجعة موقفه باستمرار، أن لا يستعمل في وصفه للطبيعة إلاّ المفاهيم التي من شأنها أن لا تدفع بتجربتنا الحالية إلى رهن وتقييد تجربتنا المقبلة. إن هذا، في ما يبدو لي، هو ما يشكل العطاء الأكبر الذي قدمه اينشتين للعلم. وعلى الرغم من أنه لم يقم هو شخصياً بإبراز هذه الحقيقة أو التعبير عنها صراحة، فإني أعتقد أن دراسة أعماله العلمية تدلنا على أنه قد أدخل فعلاً تعديلاً جوهرياً على تصورنا لما هي عليه، ولما يجب أن تكون عليه، المفاهيم المستعملة في الفيزياء. وإلى هذا العهد ـ عهد اينشتين ـ كان كثير من المفاهيم الفيزيائية تعرف بواسطة خصائصها. وأحسن مثال على ذلك، هو ذلك التعريف الذي أعطاه نيوتن للزمان المطلق. والفقرة التالية المقتبسة

---

(١) Percy Williams Bridgman, texte rappelé par: Robert Blanché, *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, collection U2; 46 (Paris: Armand Colin, 1969), pp. 274-278.

من «تعليقات» الجزء الأول من المبادىء (= المبادىء الرياضية للفلسفة الطبيعية لنيوتن) ذات دلالة خاصة في هذا الصدد.

«الزمان والمكان والمحل والحركة مفاهيم يعرفها الناس جميعاً، فلا حاجة بنا إلى تعريفها. ولكن علينا أن نلاحظ أن الناس، عادة، لا يتصورون هذه المقادير إلاّ من خلال علاقاتها بالأشياء الحسية، مما ينتج عنه عدد من الأحكام المسبقة، يتطلب تبديدها التمييز في هذه المقادير بين ما هو مطلق وما هو نسبي، بين ما هو حقيقي وما هو ظاهري، بين ما هو رياضي، وما هو عامي. الزمان المطلق، الحقيقي والرياضي، والذي لا علاقة له بأي شيء خارجي، ينساب بانتظام ويسمى الديمومة».

هذا في حين أنه ليس ثمة قط ما يؤكد لنا أنه يوجد في الطبيعة شيء له مثل هذه الخصائص التي ينص عليها هذا التعريف. وعندما نبني الفيزياء على مفاهيم من هذا النوع، فإنها تصبح علماً مجرداً تماماً، بعيداً عن الواقع، مثل ما هي مجردة وبعيدة عن الواقع، الهندسة النظرية التي يشيدها الرياضيون، على مجرد مسلمات. ومن واجب العلم التجريبي الكشف عما إذا كانت المفاهيم المعرّفة بهذا الشكل يقابلها شيء من أشياء الطبيعة. وعلينا أن ننتظر دوماً أننا سنجد ـ عندما نقوم بذلك ـ أن هذه المفاهيم لا يقابلها شيء في الطبيعة، أو أنها لا يقوم بينها وبين أشياء الطبيعة سوى تناظر جزئي. وإذا فحصنا، بالخصوص تعريف الزمان المطلق على ضوء التجربة، فإننا لن نجد أي شيء في الطبيعة بمثل تلك الخصائص (التي نسبها إليه نيوتن).

إن الموقف العلمي الجديد ازاء المفاهيم يختلف عن ذلك تماماً، ويمكن أن نشرح هذا بأخذ مفهوم الطول كمثال. فماذا نعنيه بطول شيء من الأشياء (من البديهي أننا نعرف ما نعنيه بالطول)، عندما نستطيع الاخبار عن طول شيء من الأشياء، أياً كان هذا الشيء، وهذا هو كل ما يريد الفيزيائي الحصول عليه. وللحصول على طول شيء من الأشياء لا بد من القيام بإجراءات معينة، وبالتالي فإن مفهوم الطول يتحدّد عندما تتحدد الاجراءات التي بواسطتها نقيس الطول. وبكيفية عامة، إننا لا نعني بمفهوم ما شيئاً آخر سوى مجموعة من الاجراءات. إن المفهوم ومجموعة الاجراءات التي تناظره مترادفان. . .

ولا بد من الحرص على أن تكون مجموعة الاجراءات التي تتكافأ مع المفهوم مجموعة وحيدة، وإلاّ وجدنا أنفسنا عند التطبيق العملي أمام أنواع من الغموض ممكنة لا نستطيع السكوت عنها.

وإذا طبقنا على الزمان المطلق هذا النوع من الفهم للمفهوم، فإننا سنجد أنفسنا غير قادرين على فهم ما تدل عليه عبارة «الزمان المطلق» إلاّ إذا كنا نعرف كيف نعمل لتحديد الزمان المطلق لحادث مشخص، أي إذا كنا نستطيع قياس الزمان المطلق. هذا في حين أنه يكفينا فحص مختلف الاجراءات التي بإمكاننا القيام بها لقياس الزمن، حتى نتبين أنها جميعاً اجراءات نسبية، والنتيجة هي أنه لا بد من القول إن الزمان المطلق لا وجود له، كما صرحنا بذلك قبل. سنكتفي بالقول إن عبارة «الزمان المطلق» لا تدل على شيء، ونحن، عندما

نصوغ هذا القول، لا تأتي بأي جديد يخص الطبيعة، وكل ما في الأمر هو أننا سلطنا الضوء على ما هو متضمن في الاجراءات الفيزيائية التي بواسطتها نقيس الزمان.

وواضح أنه إذا تبنينا هذه الوجهة من النظر، فحرصنا على تعريف المفاهيم بواسطة الاجراءات الفعلية، لا بواسطة الخصائص فإننا لن نتعرض أبداً إلى خطر مراجعة موقفنا ازاء الطبيعة. ذلك لأن الحرص على وصف التجربة بواسطة التجربة، سيجعل التناظر قائماً دوماً، وبالضرورة، بين التجربة والوصف الذي نعطيه لها. ولن يكون هناك قط ما يضايقنا، كما كان الشأن من قبل عندما كنا نحاول البحث في الطبيعة على النموذج الأصلي للزمان المطلق الذي قال به نيوتن، وإذا تذكرنا إلى جانب ذلك، أن الاجراءات التي يناظرها المفهوم الفيزيائي هي اجراءات فيزيائية فعلية، فإن المفاهيم لن تعرف إلاّ في حدود التجربة الفعلية، أما خارج هذه الحدود فستبقى غير معرفة أو فارغة من المعنى. وينتج عن هذا، ونحن هنا نعني ما نقول، إننا لا نستطيع قط قول شيء ما، عن المجالات التي لا تغطيها التجربة، وأنه عندما يحصل ذلك، الشيء الذي لا يمكن تجنبه، فلن يكون سوى نوع من المد والتمطيط قائم على المواضعة والاصطلاح، ويجب أن نكون واعين تماماً على أنه مجرد مد احتياطي، وأنه لا شيء يبرره إلاّ التجارب التي ننتظر أن يسمح بها المستقبل.

ومن المحتمل جداً أن لا يكون اينشتين ولا غيره قد عبّر بطريقة واعية عن هذا التحول الذي تحدثنا عنه بخصوص استعمال المفاهيم. ولكن، أن يكون ذلك هو ما حصل بالفعل، فهذا ما يبرهن عليه، في نظري، فحص الكيفية التي يستعمل بها اينشتين وغيره، المفاهيم الفيزيائية. ذلك لأن البحث عن المعنى الحقيقي لكلمة من الكلمات يجب أن ينصب على ملاحظة ما نفعله بتلك الكلمة، لا على ما نقوله عنها. ولكي نبرهن على أن هذا القول، هو المعنى الذي بدأ يستعمل فيه المفهوم، سنفحص، بالخصوص، الكيفية التي يعالج بها اينشتين مفهوم التزامن Simultanéité.

لقد كان مفهوم التزامن يعرف قبل اينشتين بواسطة الخصائص، لقد كانت الحادثتان توصفان، عندما يراد بيان علاقتهما في الزمان، بأن الواحدة منهما، إما سابقة على الأخرى، وإما لاحقة لها، وإما أنهما معاً متزامنتان. وهكذا كان التزامن ينظر إليه كخاصية لحادثتين تؤخذان بمفردهما ولا شيء غير ذلك. فالحادثتان: إما أن تكونا متزامنتين وإما أن تكونا غير متزامنتين. وكان استعمال هذه الكلمة بهذا الشكل مبرراً بكونه كان يبدو وكأنه يصف فعلاً سلوك أشياء حقيقية. وبديهي أن التجربة في ذلك الوقت كانت محصورة في مجال ضيق. ولكن عندما اتسع مجال التجربة، أي عندما أصبحت تتناول، مثلاً، السرعات المرتفعة، تبين أن هذا المفهوم لم يعد يتطابق معها، لأنه لم يكن هناك في التجربة أي شيء يستجيب لهذه العلاقة المطلقة بين حادثتين. وحينئذ تناول اينشتين مفهوم التزامن بالنقد والفحص. وقد تركز هذا النقد بكيفية خاصة على بيان أن الاجراءات التي تمكننا من وصف حادثتين بالتزامن، تستلزم قيام ملاحظ بإجراء قياسات عليهما، وهذا يعني أن «التزامن» ليس فقط خاصية للحادثتين وحدهما دون غيرهما، بل إنه يجب أن يشمل أيضاً علاقة الحادثتين مع الملاحظ. وبالتالي، فما دمنا لا نتوفر على دليل من التجربة يثبت العكس، فلا بد لنا من

القول إن التزامن بين حادثتين يتوقف على علاقتهما بالملاحظ، وبكيفية خاصة على سرعتها بالنسبة إليه. وهكذا فمن خلال التحليل الذي قام به اينشتين لمحتوى مفهوم التزامن، وباكتشافه للأهمية الأساسية التي يكتسبها نشاط الملاحظ في هذا المجال، يكون قد تبنى وجهة نظر جديدة في ما يجب أن تكون عليه المفاهيم في الفيزياء، نعني بذلك وجهة النظر الاجرائية.

نعم، لقد ذهب اينشتين إلى أبعد من هذا. فلقد تبين بدقة كيف أن الاجراءات التي تمكن من الحكم على وجود التزامن، تتغير بالنسبة إلى الملاحظ الذي يتحرك، وتوصل إلى ايجاد صياغة كمية تعبر عن تأثير حركة الملاحظ على الزمن النسبي الخاص بالحادثتين. ولنذكر هنا بين قوسين أن هناك حرية كبيرة في اختيار الاجراءات المناسبة. والاجراءات التي اختارها اينشتين راعى فيها جانب البساطة والملاءمة مع الأشعة الضوئية. وبغض النظر عن العلاقات الكمية الدقيقة التي صاغتها نظرية اينشتين فإن النقطة المهمة بالنسبة إلينا، هي أنه لو أننا تبنينا وجهة النظر الاجرائية، لتمكنّا، حتى قبل اكتشاف الظواهر الفيزيائية المعروفة اليوم، من معرفة كيف أن التزامن مفهوم نسبي أساساً، ولاحتفظنا في أذهاننا بمكان لهذه النتائج التي تمّ اكتشافها في ما بعد.

١٣ ـ نقد الاتجاهات الوضعية[1]
(من وجهة نظر ماركسية)

فاطاليـف

بعد أن استعرضنا أهم القضايا الإيبستيمولوجية التي طرحتها الميكانيكا الكوانتية، وأبرز الاتجاهات الوضعية، في العلم، التي قامت في أعقاب الثورة الكوانتية وانطلاقاً منها، نورد في ما يلي نصاً لأحد علماء السوفيات يناقش فيه أهم مقولات الوضعية الجديدة واتجاهاتها المختلفة مركزاً على النزعات التي ترى أن موضوع الفيزياء لم يعد الأشياء الواقعية بل نتائج القياس فقط، الشيء الذي يؤدي إلى القول بعدم امكانية معرفة الواقع الموضوعي كما هو، ويحصر المعرفة البشرية في المعطيات الحسية وعمليات القياس. إن الاتجاهات التي تتبنى هذا الرأي هي امتداد لفلسفة ماخ الظاهراتية كما أشرنا إلى ذلك من قبل. تلك الفلسفة التي ردّ عليها لينين في كتابه «المادية والمذهب التجريبي النقدي»، هذا الكتاب الذي لم يظهر بعد عند السوفيات، في حدود علمنا، ما يوازيه اطلاعاً وقوة حجة.

«.. لننتقل الآن إلى علاقات الوضعية الجديدة بالنظريات الفيزيائية الحديثة. إن معالجة هذا الموضوع ضرورية، لأن مختلف النزعات المثالية في الفيزياء، مثل النزعة الطاقوية[2] والنزعة الاجرائية والنزعة المواضعانية[3] والنزعة الذاتية الانتقالية، جاءت كلها نتاجاً للوضعية الجديدة ونتيجة لتسرّبها إلى الفيزياء، وأيضاً لأن هذه النزعات نفسها تقدم للوضعية الجديدة حججها العلمية.

إن الوضعية الجديدة تطلب من الفيزياء أن تقوم بدور أساسي وهام في تبرير آرائها الفلسفية. لقد ورد في تقرير قدمه ديتوش بعنوان «تأملات في النقاش الراهن حول المعرفة الفيزيائية» إلى مؤتمر زوريخ ما يلي: «لقد حدث مراراً أن كانت الفيزياء منطلقاً للتأمل الفلسفي، ولنظرية المعرفة بكيفية خاصة. لقد فرضت الفيزياء الحديثة، بتصوراتها البعيدة

---

(١) Kh. Fataliev, *Le Matérialisme dialectique et les sciences de la nature* (Moscou: Editions du progrès, [s.d.]).

(٢) نسبة إلى نظرية الطاقة (رانكين خاصة). (المترجم).

(٣) نسبة إلى نظرية المواضعة (بوانكاريه خاصة). (المترجم).

جداً عن الفهم العلمي، آفاقاً جديدة على البحث الفلسفي»[٤]. صحيح أن الفيزياء قد قدمت فعلاً، وما زالت تقدم، مادة خصبة للتأمل الفلسفي، ولكن ديتوش يفكر في شيء آخر عندما يتحدث عن الآفاق الجديدة التي تفتحها الفيزياء الحديثة أمام الفلسفة. إن الوضعية الجديدة ترى في الاضطراب الذي تعرفه حالياً النظرية الفيزيائية، نتيجة قيام الميكانيكا الكوانتية ونظرية النسبية والفيزياء النووية، فرصة ملائمة للقيام بمحاولة نسف مادية الفيزيائيين العفوية، وإفقاد إيمانهم الغريزي بالوجود الموضوعي للعالم وبتوافق النظريات الفيزيائية مع الواقع، والعمل، أخيراً، على هدم الأسس العلمية للمادية الجدلية. يقول ديتوش في تقريره المذكور: «والخلاصة أننا عشنا منذ خمسة وعشرين عاماً، نشوء فلسفة جديدة للطبيعة، وقيام تصور جديد لعلاقات الذات بالموضوع تصوراً لا يمكن ربطه بأية فلسفة من الفلسفات التي شيِّدت من قبل». ويقول ديتوش نفسه، إن هذا التصور الفلسفي «الجديد» يمكن التعبير عنه بكلمة واحدة، هي: الذاتوية Subjectivisme.

والحق أن الوضعية الجديدة تبني تصوراً جديداً لمثالية ذاتية تزعم أنها مؤسسة على المكتسبات الحديثة للعلوم الفيزيائية. فلننظر كيف تعمل الوضعية الجديدة على تعزيز تصورها الفلسفي بواسطة الفيزياء.

من المعروف أن أحد المبادىء الأساسية للوضعية الجديدة، يتلخص في القول: إن العلم منظومة من التأكيدات المستنتجة، طبقاً لقواعد المنطق الصوري، انطلاقاً من «محاضر التجربة» Enoncés protocolaires أو «العبارات البسيطة على الاطلاق»[٥]. إن محاضر التجربة التي يقول بها كارناب لا تحتاج إلى تبرير، وهي تقدم الأساس الذي تبنى عليه التأكيدات في العلم (= القضايا العلمية = القوانين). واختبار الحوادث العلمية يجب أن يتم لا بمقارنتها مع الواقع الموضوعي، ولا مع التجربة بل مع هذه المحاضر. ويرى راسل أن طريقة التحليل المنطقي تكمن في ارجاع جميع الحوادث التي يكتشفها العلم إلى قضايا بسيطة على الاطلاق، قضايا موضوعها أولى عناصر العالم. إن محاضر التجربة التي يقول بها كارناب، والقضايا البسيطة على الاطلاق التي يقول بها راسل هي، أساساً، المنطلقات القاعدية للوضعية الجديدة في محاولتها الرامية إلى ايجاد أسس يشيد عليها العلم.

إن محاضرة التجربة والقضايا البسيطة على الاطلاق تلعب دور التأكيدات العلمية المثبتة لمعطيات الملاحظة، أي الادراكات المباشرة، وهي عندهم بمثابة رسوم بيانية للملاحظة. وهم لا ينظرون إليها بوصفها تكافؤ الأشياء وظواهر العالم الواقعي، بل يعتبرونها ذاتية وهمية. وهكذا يتحول العالم الفيزيائي الواقعي إلى اشارات آلات القياس، وإلى ادراكات لا تشترك في شيء مع العالم الواقعي (من وجهة النظر هذه ليس ثمة ما يجمع بين مصادر الضوء والصوت وادراكاتنا البصرية والسمعية).

---

(٤) أعمال المؤتمر الدولي الثاني للاتحاد العالمي لفلسفة العلوم، ص ١٢٨.

(٥) المصطلح الأول لجماعة فينا، والثاني لبرتراند راسل، والمقصود: الملاحظات ـ الجزئية ـ التي يسجلها الباحث والتي تمده بها التجربة. قارن مع محاضر الشرطة بخصوص حادثة سير. (المترجم).

إن هذا المبدأ الذي تتمسك به الوضعية الجديدة يعبر عنه في لغة الفيزياء بمصطلح «القابلية للملاحظة» L'observabilité. وقوام هذا المبدأ أن مهمة الفيزياء تنحصر في القيام بملاحظات مباشرة للظواهر، دونما اعتراف بالوجود الذاتي للموضوعات أي كأشياء مستقلة عن الملاحظة والقياس.

إن النزعة الطاقوية التي قال بها أوستوالد Ostwald تتضمن سلفاً، فكرة مبدأ القابلية للملاحظة. وقد سبق لسومرفيلد Sommerfeld أن سجل، بحق، كون النزعة الطاقوية تنطلق من الفكرة التالية، وهي أن النظرية الفيزيائية يجب أن تشيد على المقادير القياسية والمعطيات القابلة للملاحظة المباشرة، وهي تعني بذلك الطاقة وحدها! لقد شغل أوستوالد نفسه بتشييد نظرية عن الظواهر الفيزيائية والكيميائية مستنداً في ذلك إلى مفهوم الطاقة وحده، معتبراً الموضوعات والظواهر الطبيعية كعمليات للطاقة خالية من كل سند مادي. ولذلك نادى بضرورة إبعاد مفهوم الذرة ومفهوم الجزيئي من العلم لكونهما لا يقبلان الملاحظة المباشرة.

لقد كشف تقدم العلم عن وهن مبدأ القابلية للملاحظة الذي بجّلته مدرسة استوالد الطاقوية. لقد انهارت تماماً محاولات بناء نظرية فيزيائية كيميائية على مفهوم الطاقة بمفرده، وأصبحت الذرة والجزيئي موضوع تجارب لامعة وتطبيقات عملية واسعة. ولو أن العلماء تبعوا استوالد لأصبحت الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا وغيرها من فروع المعرفة غير قابلة للتصور...

في الفيزياء كما في أي علم آخر، تكتسي المفاهيم العلمية، التي تصاغ بواسطتها القوانين والمبادىء، أهمية كبيرة. ومن الطبيعي تماماً أن تطرح على الفيزيائيين والفلاسفة مشكلة طبيعة المفاهيم العلمية ومشكلة طرق ومناهج صياغتها. ويمسك معظم الفيزيائيين، في هذا الشأن، بوجهة النظر المادية العفوية، فيعتبرون كشوف علومهم تعكس الخصائص الموضوعية للأشياء والظواهر الواقعية. ومع ذلك فإن النزعة الاجرائية ترى أن المفاهيم العلمية لا تعكس سوى خصوصيات عمليات القياس والملاحظة، وأن المفاهيم يجب أن تعرف لا بخصائص الموضوعات الفيزيائية بل بطرق القياس وعملياته. وقد كتب بريدغمان، الاجرائي النزعة، قائلاً: «إن ما يعرف المفهوم ليس الخصائص، بل الاجراءات الواقعية»(٦).

هناك في الفيزياء طرق مختلفة لملاحظة نفس الموضوعات الفيزيائية، وإذا قمنا بتعريف المفاهيم العلمية بطريقة ما من طرق الملاحظة، فمن الطبيعي أن لا يكون لها مدلول محدد تحديداً تاماً. فكلما تعددت وسائل قياس شيء من الأشياء كلما تعددت المفاهيم التي تخص هذا الشيء. ولا يمكن لأي علم أن يقبل هذا اللاتحديد للمفاهيم. ولقد حاولت نزعة المواضعة أن تعالج هذه الحالة، مقترحة قيام اتفاق ومواضعة بين الملاحظين حول اختيار

---

(٦) Percy Williams Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (New York: The Macmillan Company, 1949), pp. 5-6.

المفهوم. وهكذا تعمل هذه النزعة على جعل المفاهيم الفيزيائية العلمية مرهونة بوجهة النظر الذاتية للملاحظ، بعد أن عزلت النزعة الاجرائية هذه المفاهيم عن الموضوعات الفيزيائية.

أما النزعة الذاتية الانتقائية التي نادى بها ادينغتون Eddington فهي تقدم لنا منظومة جد منسقة مبنية هي الأخرى على مبدأ القابلية للملاحظة. ذلك ما يكشف عنه مظهرها المنطقي المتطرف.

وفي ما يلي وجهة نظر النزعة الذاتية الانتقائية: إنها ترى أن النظرية الفيزيائية يجب أن تشيّد بواسطة التأكيدات المستندة على منهج الملاحظة ويجب أن لا تهتم بالخصائص الموضوعية للأشياء ولا بالظواهر الواقعية، بل يجب أن تحصر اهتمامها في «السلوك الملاحظ»، في الخصائص التي «يوحي بها منهج الملاحظة»[7]. والمعلومات الفيزيائية يتم الحصول عليها في نظرها بدراسة طريقة الملاحظة و«الطرق الحسية والفكرية» المستعملة حين الملاحظة، وبالتالي فإن كل ما لا يقبل الملاحظة يجب أن يستبعد من النظرية الفيزيائية. وليست التجربة هي التي تفصل في ما إذا كان مقدار ما قابلاً للملاحظة أو لا، بل إن الذي يفصل في ذلك هو دراسة تعريف هذا المقدار، هو تحليله منطقياً. ويرى ادينغتون أن مبدأ القابلية للملاحظة يسمح، بكيفية قبلية، بصياغة القوانين والثوابت الخاصة بالفيزياء. يقول: «... إن القوانين والثوابت الأساسية الخاصة بالفيزياء قوانين وثوابت ذاتية بتمامها، ويمكن صياغتها قبلياً»[8].

وهكذا فالوضعية الجديدة بكيفية عامة والنزعة الذاتية الانتقائية بكيفية خاصة، تنطلق من وجهة النظر القائلة، إن أساس الفيزياء هو مبدأ القابلية للملاحظة، وأن موضوعها هو تحليل طرق القياس. أما طبيعة القياس والقابلية للملاحظة فتلك مشكلة تجد حلها في التحليل المنطقي. وبذلك يصبح هدف الفيزياء هو توقع القياسات اللاحقة، استناداً إلى القياسات السابقة، وبالتالي فإن مهمة القياس تنحصر فقط في تحديد درجة الاحتمال في نتائج قياسات أخرى. ومن هنا تصبح النظرية الفيزيائية مجرد تنهيج Systématisation للإدراكات الحسية التي توحي بها عملية الملاحظة، أما الواقع الموضوعي فلا شأن لها به. لقد مدّد هذا النوع من الفهم لطبيعة المعرفة الفيزيائية إلى جميع ميادين المعرفة، مما كانت نتيجته تلك النظرية التي أشرنا إليها أعلاه: نظرية محاضر التجربة.

وهنا لا بد من التساؤل: كيف تبرر الوضعية الجديدة مبدأ القابلية للملاحظة؟ وعلام يقوم منطق العلم هذا، هذا المنطق الذي يزعم أنه يمكن من استنتاج جميع القضايا (= العلمية) من تحليل محاضر التجربة؟

لقد أكد ديتوش في الكلمة التي ألقاها في مؤتمر زوريخ أن هذه الفلسفة «الجديدة» تستند إلى نتائج الميكانيكا الكوانتية، وأن أصالة هذه النظرية الفيزيائية ترجع إلى «... كون

---

(7) Arthur Stanley Eddington, *The Philosophy of Physical Science* (New York: [s.n.], 1974), p. 37.

(8) نفس المرجع، ص ١٠٤.

الاستدلالات في النظريات الكوانتية تتوافق... مع قواعد منطق غير المنطق الكلاسيكي: منطق التكاملية والذاتوية»[9].

واضح إذن أن نظرية «محاضر التجربة» بأتمها، وبالخصوص منها، «مبدأ القابلية الملاحظة» ترتكز على مفهوم التكاملية. هذا في حين أن التكاملية ليست شرطاً ضرورياً ولا نتيجة حتمية للميكانيكا الكوانتية، بل إن مفهوم التكاملية نفسه وليد تأويل وضعي، مثالي ذاتي، للميكانيكا الكوانتية، تأويل يتناول بالخصوص أحد مظاهرها (علاقات الارتياب). وهكذا فما تعتبره الوضعية الجديدة مبرراً لفلسفتها، ليس في واقع الأمر سوى نتيجة لتأويل مشوّه لأحد الكشوف العلمية.

... (إن علاقات الارتياب) تؤكد أن القياس التزامني لموقع الجسيم وحركته لا بد أن تعرض لخطأ لا يقل عن $\frac{h}{2\pi}$[10]. وكان بور وهايزنبرغ وغيرهما من مشاهير العلماء قد اقترحوا تأويلاً وضعياً ذاتوياً ومثالياً لهذه العلاقات، التي هي صحيحة علمياً، تأويلاً ساعد على صياغة مبدأ التكاملية.

إن التأويل الذي تقدمه الوضعية الجديدة لعلاقات الارتياب ـ وهذا ما يشكل الفكرة الأساسية في التكاملية ـ يتلخص في القول: إن استحالة تحديد موقع الجسيم وكمية حركته في آن واحد، وبدقة مطلقة (يتعلق الأمر بكيفية أدق بالخاصية المكانية الزمانية (= الموقع) وخاصية الدفع والطاقة (= السرعة) يدل على أنهما (أي الموقع والسرعة) يتعلقان بالقياس، وبالتالي فهما نتيجة للعلاقة التي تقوم، حين القياس، بين الذات والموضوع، والتي تتكامل بشكل يجعل قياس الخاصية الزمنية المكانية للجسيم ينفي قياس خاصية الدفع والطاقة في هذا الجسم نفسه، والعكس بالعكس.

إن عملية القياس تمارس تأثيراً على حالة الموضوع الملاحظ وعلى خصائصه. وهذا شيء لوحظ أحياناً في الفيزياء الكلاسيكية، ولكنه اكتسى أهمية أساسية في الفيزياء الذرية. وتنطلق فكرة التكاملية من أن هذا التأثير الذي يمارسه القياس على الموضوع الملاحظ غير قابل للمراقبة من الناحية المبدئية في ميدان الفيزياء الذرية. وإذا كان الأمر كذلك، فإن الميكانيكا الكوانتية لا تدرس إلا الظواهر التي تحدث حين الملاحظة والتي تسفر عنها عملية القياس. وإذن فهي لا تستطيع أن تقدم لنا أية معرفة بالموضوعات ولا عن الظواهر التي توجد مستقلة عنا وخارج نطاق فعل الملاحظة. وفي هذه الحالة تصبح الميكانيكا الكوانتية علماً يقوم فقط بتهييء المعطيات التي تقدمها طرق القياس، علماً تنحصر مهمته في تقدير نتائج القياسات المقبلة انطلاقاً من المعطيات التي أسفرت عنها القياسات السابقة، الشيء الذي يجعل من الميكانيكا الكوانتية علماً يتناول محاضر التجربة.

---

(٩) نفس المرجع، ص ١٢٩.

(١٠) لقد شرح المؤلف في فقرتين سابقتين علاقات الارتياب. ونحن لم نر ضرورة لترجمتها بعد أن شرحنا بتفصيل هذه العلاقات ونتائجها. انظر الفصل السابع من هذا الكتاب.

هذا النوع من الفهم لطبيعة المعرفة العلمية والمؤسس على فكرة التكاملية، قد طبق بعد ذلك على جميع فروع المعرفة. وبما أن الوضعية الجديدة ترى أن وحدة العلوم تقوم على تعميم اللغة الفيزيائية، فإنها تعتبر مفهوم التكاملية بمثابة منطق للعلم كله.

وهكذا تنحل الحجج العلمية التي ترتكز عليها الوضعية الجديدة، في نهاية الأمر، إلى تأويل الميكانيكا الكوانتية بكيفية عامة وعلاقات الارتياب بصفة خاصة، تأويلاً على فكرة التكاملية. هذا في حين أن مفهوم التكاملية مفهوم خاطىء تماماً، فهو يناقض المحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية.

لنسجل، بادىء ذي بدء، أن كلمة التكاملية لا تستعمل دوماً في نفس المعنى. ففي بعض الأحيان تعني التكاملية أن القيم الدقيقة هي التي تحدد احداثيات الموقع وكمية الحركة، فيما يحدد كل منها على حدة بواسطة صنفين من التجارب يختلفين أحدهما عن الآخر، ولكنهما يتكاملان. وهذا النوع من الفهم للتكاملية مشروع تماماً، فالمسألة هنا تتعلق فقط بملاحظة واقعة فيزيائية. وأحياناً أخرى يقصد بالتكاملية أن النموذج الفيزيائي الكلاسيكي لا يطبق في الفيزياء الكوانتية إلاّ بشكل محدود. وهذا أيضاً لا مؤاخذة عليه على الرغم من أن استعمال كلمة التكاملية في هذا المعنى قابل للمناقشة. غير أن مفهوم التكاملية عند بور يعني شيئاً آخر، كما شرحنا ذلك قبل. ونحن حينما نؤكد أن فكرة التكاملية خاطئة تماماً وأنها لا تتوافق مع الميكانيكا الكوانتية، فإنما نعني بالضبط المعنى الذي حدّده بور وأنصاره لهذه الكلمة.

فلماذا، إذن، نعتبر فكرة التكاملية ـ بهذا المعنى ـ خاطئة؟

أولاً، لأن بور وأصحابه يستنتجون من علاقات الارتياب أن التأثير الذي تمارسه عملية القياس على الموضوع الملاحظ، تأثير لا يخضع للمراقبة، هذا في حين أن هذه النتيجة لا ترجع لا إلى علاقات الارتياب ولا إلى أي قانون آخر في الميكانيكا الكوانتية.

لقد حدث من قبل في الفيزياء الكلاسيكية أن لوحظ في بعض الحالات أن القياس يؤثر في الموضوع الملاحظ. وكانت الفيزياء الكلاسيكية تقدم طرقاً ومناهج تسمح بمراقبة ذلك التأثير والبت في نتائج البحث، وبالتالي الحصول على معرفة لا تتوقف على القياس. أما في الفيزياء الذرية فإن عملية القياس تمارس تأثيراً مهماً جداً على الموضوع الملاحظ، في حين أن الميكانيكا الكوانتية لا تقدم مناهج تسمح بمراقبة هذه الظاهرة. وهذا ليس راجعاً إلى كون هذه الظاهرة لا تقبل المراقبة من الناحية المبدئية، بل لأن الميكانيكا الكوانتية ليست نظرية تامة ونهائية للجسيمات المعزولة. إن قوانين الميكانيكا الكوانتية ليست قابلة للتطبيق على جميع مظاهر الطبيعة الخاصة بالجسيمات ولا على جميع مظاهر سلوكها، وهي لا تعكس جميع خصائصها ولا جميع مظاهرها. وبكيفية خاصة، فإن مشكلة الوسائل التي تمكن من مراقبة التأثير الذي تمارسه أداة القياس على حالة الجسيم (موقعه وكمية حركته) مشكلة لا تدخل في نطاق امكانيات الميكانيكا الكوانتية. وهذه مسألة سيفصل فيها تقدم العلم. وهذا ما أشار إليه اينشتين بحق سنة ١٩٣٥ في مناقشته مع بور حول هذا الموضوع نفسه. وافتقاد الميكانيكا الكوانتية إلى مناهج للمراقبة من هذا النوع لا يؤثر في صحة نتائجها المتعلقة بالخصائص

الأخرى التي للجسيمات والتي لا تؤثر فيها عملية القياس. وإذا كانت الميكانيكا الكوانتية لا تتوفر على وسيلة لمراقبة التأثير الذي تمارسه أداة القياس على الموضوع الملاحظ، فإن هذا لا يبرر مطلقاً التأكيد بأن هذا التأثير غير قابل للمراقبة. إن مثل هذا التأكيد معناه أن الميكانيكا الكوانتية تسجل الحد الأقصى لما يمكن أن نعرفه عن الجسيمات (كما يرى ذلك بور). هذا في وقت نشاهد فيه فروعاً أخرى للمعرفة تنشأ وتتطور أمام أعيننا (نظرية الجسيمات الأولية، الفيزياء النووية)، فروعاً لا تدخل في اطار الميكانيكا الكوانتية.

وإذن، فإذا كان التأثير الذي تمارسه أداة القياس على الموضوع الملاحظ ليس مما لا يقبل المراقبة، فكيف نفسر استحالة القيام بقياس دقيق لاحداثيات الموقع والسرعة بالنسبة إلى الجسيمات قياماً متزامناً.

يمكن تفسير ذلك بكون الميكانيكا الكوانتية تدرس الخصائص الاحصائية لعدد كبير من الجسيمات، أو خصائص الجسيمات المعزولة منظوراً إليها من الجانب الاحصائي. هذا في حين أن النظريات التي تتناول الخصائص الديناميه للموضوعات الفيزيائية هي التي تستلزم القياس المتزامن الدقيق لاحداثيات الموقع وكمية الحركة.

ويمكن تفسير علاقات الارتياب من وجه آخر. لذلك إن الجسيمات لها بنية جسيمية وموجية معقدة، في حين أن احداثيات الموقع وكمية الحركة هي مفاهيم صيغت لبيان الخصائص الزمانية ـ المكانية وخصائص الدفع والطاقة المتعلقة بالأجسام الكبيرة. ومن الجائز أن تكون هذه المفاهيم لا تعكس بدقة الخصائص المتعلقة بالجسيمات. ولذلك، فإن التعبير عن خصائص الجسيمات بواسطة مفاهيم لا تعكس تلك الخصائص بدقة، يؤدي إلى الحصول على مقادير لا تحدد هذه الخصائص بما يلزم من الدقة.

ثانياً، إن الأطروحة التي تتبناها فكرة التكاملية والتي تؤكد أن الميكانيكا الكوانتية تتناول مقادير تتشكل حين الملاحظة، وتتصف بخصائص ناتجة عن عملية القياس، وبالتالي فهي لا تستطيع أن تمدنا بأية معلومات حول خصائص وحالات الجسيمات كما هي، دون تدخل القياس، أطروحة خاطئة أيضاً، فهي لا تستلزمها لا علاقة الارتياب ولا أي قانون آخر من قوانين الميكانيكا الكوانتية، بل إنها بالعكس من ذلك مناقضة أساساً للمحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية.

تتميز حالة الجسم المتحرك، في الميكانيكا الكلاسيكية بالتحديد المتزامن للقيم الخاصة بإحداثيات الموقع وكمية الحركة تحديداً مضبوطاً. أما بالنسبة إلى الجسيمات فإن علاقات الارتياب تشير إلى أن مثل هذا التحديد المضبوط لا يمكن القيام به. وهذا شيء مفهوم، لأنه لا شيء يبرر الاعتقاد بأن حالة الحركة يجب أن تضبط بنفس الشكل في ميادين من المواقع تختلف عن بعضها اختلافاً كيفياً. وتاريخ العلم كله يؤكد أن الظواهر الفيزيائية المختلفة بهذا الشكل تتطلب أن تفسر حالاتها بأوجه مختلفة. وحالة المنظومات في الميكانيكا الكوانتية تتميز بخصائص غير تلك التي تتصف بها الموضوعات الماكروسكوبية. وهذا ما تعبر عنه الدالة

الخاصة بها[11]. وإذا كان من المستحيل تطبيق التعريف الكلاسيكي للحالة على الجسيمات، فإن ذلك يعني، لا أن الميكانيكا الكوانتية لا شأن لها بالحالات الواقعية، بل يعني أنها تدرس حالات جديدة من الناحية الكيفية يتطلب التعبير عنها مفاهيم جديدة لم تتعودها الميكانيكا الكلاسيكية.

هكذا إذن، تقدم فكرة التكاملية التي هي وليدة تأويل الوضعية الجديدة لمبادىء الميكانيكا الكوانتية، كأحد مكتشفات هذه الميكانيكا، وتلك هي الحلقة المفرغة التي تدور فيها حجج الوضعية الجديدة هذه.

إن المحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية التي تعتبرها الوضعية الجديدة عن باطل، مصدراً لها، لا يتفق مع هذه الفلسفة الرجعية. وإذا كان كثير من العلماء اللامعين قد تبنّوا على الفور هذا التأويل الذي قدمته الوضعية الجديدة للميكانيكا الكوانتية، بواسطة مفهوم التكاملية، فإننا نشاهد، مع مرور الزمن، ازدياد الاستياء داخل صفوف الفيزيائيين الغربيين من هذا التأويل، ورغبتهم في التخلي عنه.

لقد سبق لنيكولسكي وبلوخينتسيف وغيرهما من العلماء السوفيات أن انتقدوا بشدة تأويل الوضعية الجديدة للميكانيكا الكوانتية واقترحوا تأويلاً جديداً. وقد تسلم المبادرة بعد ذلك علماء أجانب مشهورون. وفي هذا الصدد تجدر الإشارة حالياً إلى أعمال علماء كبار يتجهون هذا الاتجاه (= المعارض للوضعية الجديدة) أمثال لوي دوبروي، وبوهم وج. فاسيل، وج. فيجي، ول. جانوسي، هؤلاء الذين لم يعودوا يكتفون بمعارضة التأويل الذي قدمه بور وهيزنبرغ، بل يقومون بأبحاث مهمة للتغلب على الصعوبات التي تختبىء فيها المصادر الابيستيمولوجية للتأويل الذي تقول به الوضعية الجديدة.

ومما له دلالة خاصة في هذا الصدد، ذلك التحوّل الذي طرأ على موقف شرودنغر أحد مؤسسي الميكانيكا الكوانتية وأحد المتحمسين في الماضي للوضعية الجديدة. وتكشف الأبحاث التي نشرها مؤخراً عن عدم رضاه بالتأويل الذي تقول به الوضعية الجديدة وعن رغبته في التخلي عنه. لقد تساءل شرودنغر في المقال الذي أصدره عام ١٩٥٥ بعنوان «فلسفة التجربة» عن حقيقة الدور الذي تلعبه التجربة الفيزيائية في الميكانيكا الكوانتية، فاعترف بعدم موافقته على مبدأ القابلية للملاحظة الذي ينص على أن العلماء يجب أن لا يهتموا في أبحاثهم الفيزيائية إلا بالملاحظات والقياسات الخالية من كل محتوى موضوعي. يقول شرودنغر «ما الفائدة من تجميع تجارب فارغة إذا كنا لا ندرس الظواهر الواقعية المشخصة «عظاماً ولحماً» إن صح القول، بل فقط معطيات خيالية»[12].

---

(١١) تدل هذه الدالة على أن مربع موضول Module دالة الموجة يساوي، في لحظة معينة، احتمال وجود الجسيم في النقطة التي تحددها الاحداثيات. م. ع. ص.

(١٢) Erwin Schrödinger, «The Philosophy of Experiment,» *Nuevo Cimento*, vol. 1 (1955), p. 8.

إن شرودنغر يناصر هنا الفكرة الصحيحة التي ترى أن موضوع الفيزياء ليس، نتائج الملاحظة التي تسفر عنها عملية القياس، بل حالات الموضوعات والظواهر الواقعية وخصائصها.

وهذا التخلي المتزايد في صفوف العلماء عن الوضعية الجديدة ناتج من تعارض التأويل الذي تقدمه هذه الفلسفة مع المحتوى الموضوعي للعلوم الحديثة التي تدرس الطبيعة. إن العلم الراهن يقدم كل يوم معطيات تتكاثر باستمرار، معطيات تؤكد أن الفلسفة الوحيدة القادرة على توضيح الرؤية التي يتضمنها العلم عن العالم على شكل بذور، هي المادية الجدلية».

ملاحظة

يتناول فاطليف في الفصول التالية أهم القضايا الفيزيائية منظوراً إليها من منظور المادية الجدلية: ترابط المادة والحركة وعدم امكانية الفصل بينهما، تنوّع أشكال المادة وحركتها وحدة الظاهر الكيفية المختلفة التي تتجلى فيها المادة والحركة، ثم توقف المكان على الزمان والزمان على المكان على ضوء نظرية النسبية، الوحدة الحميمة بين المادة والمكان على ضوء خصائص المجالات الفيزيائية والجسيمات الأولية، الترابط بين المادة والمكان والزمان على ضوء نظرية النسبية المعممة.

هذا ومن الإنصاف للحقيقة أن نسجل هنا ما يقوله فاطليف ـ المتوفى في سنة ١٩٥٩.

ـ في هذه الفصول لا يخرج عن القضايا المبدئية والاستنتاجات العامة التي قال بها انجلز ولينين. وهذا إن دلّ على شيء فإنما يدل على الجمود العقائدي الذي أصاب الماركسية في الفترة الستالينية، وهي نفس الفترة التي انتشرت فيها النزعات الوضعية التي أشار إليها المؤلف في هذا النص.

ومن جهة أخرى تجدر الاشارة إلى أن العلماء الغربيين قد تخلوا عن آراء هذه الوضعية الجديدة منذ مدة. والمجال الأساسي الذي تهتم به الوضعية الجديدة اليوم هو المنطق والعلوم الانسانية. (المترجم).

١٤ ـ القيمة الموضوعية للعلم[١]

بوانكاريه

كثيراً ما أسيء فهم آراء بوانكاريه ونزعته المواضعاتية الخاصة، ولذلك يصنف عادة مع الوضعيين الجدد المتحدرين من ظاهراتية ماخ. لقد سبق أن أبرزنا (الفصل الرابع، القسم الأول) الصبغة الخاصة لـ «وضعية» بوانكاريه. وفي هذا النص الذي يناقش فيه مسألة الموضوعية في العلم نلاحظ عزوفه عن النزعة الظاهراتية. يرى بوانكاريه أن معرفتنا بالظواهر تتغير، وأن النظريات العلمية تتجدد باستمرار تبعاً لذلك. ولكن هناك شيئاً يبقى ثابتاً، موجوداً وجوداً موضوعياً يفرض نفسه على الجميع، هو العلاقات بين ظواهر الطبيعة، أي القوانين العلمية. إن الأسماء التي نعطيها لأشياء الطبيعة وظواهرها والتصورات التي ننشئها عنها، هي وحدها المتغيرة، أما العلاقات الموضوعية القائمة بينها فهي موجودة ثابتة. وإذا كان بوانكاريه يقول في آخر النص: «كل ما ليس بفكرة هو عدم محض» فيجب أن لا نحمّل هذه العبارة ما لا تحمله ويجب أن لا نفصلها عن سياق تفكيره العام. إنه هنا يرد على اسمية لوروا (راجع الفصل الرابع، القسم الأول). إن ما يريد أن يقوله هنا هو أن الأسماء لا قيمة لها وهي لا تعني شيئاً آخر غير الأفكار التي تعبر عنها. وهذه الأفكار ـ لا الأسماء ـ هي وحدها الموجودة، ووجودها مستمد من كونها تعبر عن الحقيقة الموضوعية بشكل تقريبي، أي عن العلاقات القائمة بين ظواهر الطبيعة.

«ما هي القيمة الموضوعية للعلم؟ قبل الجواب عن هذا السؤال يجب أن نتساءل: ماذا يجب أن نعنيه بالموضوعية؟

إن ما يضمن لنا موضوعية العالم الذي نعيش فيه، هو أن هذا العالم مشترك بيننا وبين كائنات أخرى مفكرة. نحن نتلقى من أناس آخرين، بواسطة أنواع الاتصال التي تقوم بيننا وبينهم، أفكاراً واستنتاجات جاهزة نعرف أنها ليست من عندنا، وفي نفس الوقت نتعرف فيها على عمل كائنات مفكرة مثلنا. وبما أننا نجد هذه الأفكار والاستنتاجات تتطابق مع عالم احساساتنا، فإننا نحكم بأن تلك الكائنات المفكرة رأت نفس الشيء الذي رأيناه نحن، وبهذا نعلم أننا لم نكن نحلم.

---

(١) Henri Poincaré, *La Valeur de la science*, préface de Jules Vuillemin, science de la nature (Paris: Flammarion, 1970), pp. 178-187.

ذلك هو الشرط الأول للموضوعية. إن ما هـو موضـوعي يجب أن يكون مشتركاً بين كثير من العقول، وبالتالي يجب أن يكـون قابلاً لأن ينتقل من فكـر إلى آخر، وبما أن هذا الانتقال لا يمكن أن يتم إلا بواسطة «الكلام»، هذا الكلام الـذي حمل المسيو لوروا Le Roy على كثير من الحذر والريبة، فإننا ملزمون باستخلاص النتيجة التالية: لولا الكـلام (= اللغة) لما كانت الموضوعية.

ستظل احساسات الغير، بالنسبة إلينا، عالماً مغلقاً إلى الأبد، سأظل عاجزاً عن الحكم عما إذا كان الاحساس الذي أسميه أحمر هو نفسه الاحساس الذي يسميه بنفس الاسم من هو بجانبي.

لنفرض أن حبة الكرز Cerise وزهرة الخشخاش Coquelicot (= وهما حمراوان) تحدثان فيّ الإحساس «أ» وتحدثان في جاري الاحساس «ب»، ولنفرض، بالعكس، أن ورقة نباتية (= خضراء) تحدث فيّ الإحساس «ب» وتحدث في جاري الإحساس «أ». من الواضح أننا ـ أنا وجاري ـ لا نستطيع أبداً معرفة أي شيء عن ذلك، فأنا أسمي الإحساس «أ» باسم أحمر، والإحساس «ب» باسم أخضر، في حين يطلق هو على الإحساس الأول اسم أخضر، وعلى الإحساس الثاني اسم أحمر. كل ما يمكن أن يلاحظه كـل منا هـو أن حبة الكرز وزهرة الخشخاش قد أحدثتا فيه نفس الإحساس. إن جاري يطلق نفس الاسم على الإحساسين اللذين يحس بهما ازاء الكرز والخشخاش، وأنا أفعل نفس الشيء كذلك.

وإذن، فالإحساسات لا تقبل النقل (= من شخص لآخر)، أو على الأصح، إن كل ما هو كيفي خالص في الإحساسات لا يقبل النقل ويظل أبداً غير قابل للفهم والادراك. ولكن ليس الأمر كذلك بالنسبة إلى العلاقات بين الاحساسات.

والنتيجة، من وجهة النظر هذه، هي أن كل ما هو موضوعي يخلو تماماً من كل كيفية، إذ ليس هو سوى علاقة خالصة. وبالتأكيد، فأنا لا أذهب إلى القول بأن الموضوعية ليست سوى كمية خالصة، (إن هذا سيؤدي إلى المبالغة في تخصيص طبيعة العلاقات التي تتحدث عنها)، ولكني أعني بوضوح أنني لا أعتقد أن هناك من يسمح لنفسه بالانزلاق إلى القول: إن العالم ليس سوى معادلة تفاضلية.

ونحن إذ نبدي تحفظات ازاء هذا القول الذي لا يخفى ما ينطوي عليه من تناقض، نرى من الواجب أن نسلم، مع ذلك، بأنه لا شيء يكون موضوعياً ما لم يكن قابلاً للنقل (= من شخص لآخر)، وبالتالي فإن العلاقات القائمة بين الاحساسات هي وحدها التي يمكن أن تكون لها قيمة موضوعية.

ربما يقال: إن الانفعال بالجمال، وهو مشترك بين جميع الناس دليل على أن كيفيات احساساتنا هي هي بالنسبة إلى جميع الناس أيضاً، ومن ثمة فهي موضوعية، ولكن عندما نفكر في الأمر نجد أن الدليل على ذلك لم يقم بعد. إن ما يبرهن عليه اشتراك الناس في الانفعال بالجمال هو أن هذا الانفعال قد تولد عند أحمد وعند ابراهيم بتأثير الاحساسات التي

يطلق عليها كل من أحمد وابراهيم نفس الاسم، أو بواسطة التنسيق بين هذه الاحساسات. وذلك إما لأن هذا الانفعال مرتبط عند أحمد بالإحساس «أ» الذي يسميه أحمر، ومرتبط كذلك عند ابراهيم بالإحساس «ب» الذي يطلق عليه بدوره اسم أحمر، وإما لأن هذا الانفعال قد تولد لا عن الجوانب الكيفية في الاحساسات، بل عن التأليف المنسجم بين علاقاتها، ذلك التأليف الذي يحدث فينا انطباعات لاواعية.

يكون هذا الإحساس أو ذلك جميلاً، لا لأنه يمتلك هذه الكيفية أو تلك، بل لأنه يحتل هذا المكان أو ذاك في شبكة تداعي المعاني بحيث لا يمكن اثارة هذا الإحساس بدون تحريك الجانب المناظر للانفعال الفني.

وهكذا، فسواء نظرنا إلى المسألة من الزاوية الأخلاقية أو الجمالية أو العملية فإننا نجد أنفسنا أمام نفس الشيء: ليس هناك من شيء موضوعي إلاّ ما له نفس الهوية بالنسبة إلى الجميع. ونحن لا نستطيع القول إن شيئاً ما هو هو بالنسبة إلى الجميع إلاّ إذا كنا نستطيع القيام بالمقارنة، إلاّ إذا كنا نستطيع ترجمته إلى «عملة للتبادل» تقبل الانتقال من فكر إلى فكر. وإذن، فلا يمتلك القيمة الموضوعية إلاّ ما يقبل الانتقال بواسطة الكلام أي ما يقبل الادراك العقلي.

بيد أن هذا ليس سوى جانب واحد من المسألة. ذلك لأنه إذا كانت المجموعة التي تخلو تماماً من كل ترتيب لا يمكن أن تكون لها أية قيمة موضوعية، لكونها غير قابلة للإدراك العقلي، فإن المجموعة المرتبة ترتيباً جيداً يمكن أن لا تكون لها هي الأخرى أية قيمة موضوعية إذا لم تكن تناظر احساسات مشعوراً بها فعلاً. أعتقد أنه من نافلة القول التذكير بهذا الشرط، ولم يكن ليخطر ببالي لولا أن هناك من ندب نفسه مؤخراً للدفاع عن الفكرة القائلة إن الفيزياء ليست علماً تجريبياً[2]. وعلى الرغم من أن هذا الرأي لا يحظى قط بالقبول، لا من جانب الفيزيائيين ولا من طرف الفلاسفة، فمن المفيد التحذير منه حتى لا تنزلق مع الهاوية التي يقود إليها. لا بد، إذن من توفر شرطين (= لقيام الموضوعية). وإذا كان الشرط الأول يفصل الواقع[3] عن الحلم فإن الثاني يميز الواقع عن القصة (= أو الرواية).

والآن نتساءل: ما هو العلم؟... إنه قبل كل شيء تصنيف، إنه طريقة للتقريب بين الحوادث التي تفصل بينها المظاهر مع أنها مرتبطة فيما بينها بقرابة طبيعية وخفية. وبعبارة أخرى: العلم منظومة من العلاقات. وكما قلنا قبل قليل، فإن الموضوعية يجب أن تبحث عنها في العلاقات وحدها. أما البحث عنها في الكائنات التي ينظر إليها منعزلة عن بعضها بعضاً، فشيء لا طائل تحته.

والقول بأن العلم لا يمكن أن تكون له قيمة موضوعية لكونه لا يكشف لنا إلاّ عن

---

(٢) يشير إلى النزعة التي تريد أن تجعل من الفيزياء علماً اكسيومياً كالهندسة، «الاكسيومي» مثلاً. (المترجم).

(٣) استعمل هنا كلمة واقعي كمرادف الموضوعي مسايرة للاستعمال الشائع. وقد أكون مخطئاً، لأن أحلامنا واقعية، ولكنها ليست موضوعية. (بوانكاريه).

العلاقات، هو قلب للاستدلال، لأن العلاقات بالضبط، هي وحدها التي يمكن اعتبارها موضوعية.

إن الموضوعات الخارجية مثلاً، وهي التي ابتكرت من أجلها كلمة موضوع، هي فعلاً موضوعات، وليست مجرد مظاهر سريعة الزوال وغير قابلة للإدراك، لأنها ليست فقط ركاماً من الاحساسات، بل هي مجموعات من الاحساسات الملتحمة في ما بينها برابطة ثابتة. وهذه الرابطة هي وحدها التي تشكل الموضوع في هذه المظاهر، وهي عبارة عن علاقة.

وإذن، فعندما نتساءل: ما هي القيمة الموضوعية للعلم فإن السؤال لا يعني: هل العلم يمكننا من معرفة طبيعة الأشياء على حقيقتها، بل إنه يعني: هل بإمكان العلم أن يكشف لنا عن العلاقات الحقيقية التي تقوم بين الأشياء؟

لا أعتقد أن أحداً يتردد في الجواب بالنفي عن السؤال الأول، بل يمكنني الذهاب إلى أبعد من هذا: فليس العلم وحده هو العاجز عن الكشف عن طبيعة الأشياء، بل لا شيء يستطيع أن يكشف لنا عنها. وإذا كان هناك إله يعرفها، فإنه لن يجد الكلمات التي يعبر بها عنها. إننا لا نستطيع قط التكهن عن الجواب، بل لا نستطيع فهم أي شيء في هذا الجواب إذا ما قدم إلينا. وأكثر من ذلك أتساءل: هل نحن نفهم السؤال؟

عندما تزعم نظرية ما أنها تكشف لنا عن ماهية الحرارة أو الكهرباء أو الحياة فإنها ستكون نظرية محكوماً عليها مسبقاً. إن كل ما تستطيع هذه النظرية امدادنا به، هو صورة غير دقيقة، وبالتالي فهي إذن نظرية مؤقتة وملغاة.

وإذا استبعدنا السؤال الأول يبقى السؤال الثاني، وهو: هل يمكن للعلم أن يكشف لنا عن العلاقات الحقيقية القائمة بين الأشياء؟ هل يجب الفصل بين ما يربطه العلم؟ أم هل يجب الربط بين ما يفصل بينه؟

لكن نفهم مدلول هذا السؤال الجديد يجب الرجوع إلى ما قلناه أعلاه حول شروط الموضوعية، ومن ثمة التساؤل: هل تمتلك هذه العلاقات قيمة موضوعية؟ أي هل يرى الناس في هذه العلاقات نفس الشيء؟ وهل سيكون الأمر كذلك بالنسبة إلى الأجيال اللاحقة؟

من الواضح أن الجاهل والعالم لا يريان في هذه العلاقات نفس الشيء. ولكن هذا لا يهم. فإذا كان الجاهل لا يدرك في الحين هذه العلاقات، فبإمكان العالم أن يجعله يدركها بواسطة سلسلة من التجارب والاستدلالات. المهم هو أن تكون هناك نقط يستطيع أن يتفق عليها جميع أولئك الذين هم على اطلاع على التجارب المجراة. ومن ثمة تصبح المسألة، هي مسألة ما إذا كان هذا الاتفاق سيستمر ويظل قائماً لدى من سيأتي بعدنا، ومن هنا نتساءل: هل سيؤكد علم الغد ما يقرره علم اليوم؟ وإذا كان من غير الممكن تأكيد ذلك بصفة قبلية، فإن الواقع يؤكده: فلقد عاش العلم ما يكفي من الوقت، بحيث إذا نحن استنطقنا تاريخه

أمكننا أن نعرف ما إذا كانت الصروح التي يشيّدها تقاوم مغالبة الزمن لها، أم أنها ليست سوى صروح عابرة.

فماذا يدل عليه تاريخ العلم إذن؟ يبدو من الوهلة الأولى أن النظريات لا تدوم إلّا يوماً واحداً، وأن الأنقاض تتراكم فوق الأنقاض. تنشأ النظريات ذات يوم، وتصبح موضة في اليوم التالي، ثم تصير كلاسيكية في اليوم الذي يليه، بالية في اليوم الثالث، منسية في اليوم الرابع. ولكن، عندما ننظر إلى الأمر عن قرب نجد أن الذي يتهاوى بهذا الشكل هو النظريات بمعنى الكلمة للنظرية، أي تلك التي تزعم أنها تكشف لنا عن ماهية الأشياء. ومع ذلك فهناك في النظريات شيء يبقى في الغالب حياً. فإذا كشفت لنا إحدى النظريات عن علاقة حقيقية، فإن هذه العلاقة تصبح مكسباً بصفة نهائية، وسنجدها بثوب جديد في النظريات الأخرى التي ستحل محل تلك النظرية.

لنأخذ مثالاً واحداً فقط: كانت نظرية تموجات الأثير تقول: إن الضوء حركة. أما النظرية المفضلة اليوم، النظرية الكهرطيسية، فهي تقول: الضوء تيار. لننظر، إذن، في ما إذا كان من الممكن التوفيق بين هاتين النظريتين، والقول بأن الضوء تيار، وأن هذا التيار حركة؟ من المحتمل على كل حال، أن لا تكون هذه الحركة هي نفس الحركة التي كان يقول بها أنصار النظرية القديمة، وبالتالي يصبح من الممكن التسليم بالرأي الذي يقول إن هذه النظرية قد انتهى أمرها. ومع ذلك، هناك شيء في هذه النظرية ما يزال حياً. فالتيارات التي افترضها ماكسويل تنتظمها نفس العلاقات التي تنتظم الحركات التي قال بها فرينل. وإذن، هناك شيء ظل وسيظل قائماً، وهذا هو المهم. وهذا نفسه هو ما يفسر لنا كيف أن الفيزيائيين ينتقلون بسهولة من لغة فرينل إلى لغة ماكسويل.

ليس ثمة شك في أن كثيراً مما كان العلم قد أقرّه، قد وقع التخلي عنه اليوم، ولكن معظمه ما زال قائماً ويبدو أنه سيظل قائماً. فما هو إذن مقياس موضوعيته؟

ليس هذا المقياس شيئاً آخر، سوى ذلك الذي نقيس به اعتقادنا بوجود موضوعات خارجية. إننا نعتقد في واقعية هذه الموضوعات لأن الاحساسات التي تثيرها فينا، احساسات متلاحمة، لا بمجرد الصدفة بل بلحام لا يقبل الانفصام. وبالمثل فإن العلم يكشف لنا في الظواهر عن روابط أخرى أكثر دقة ورهافة، ولكنها ليست أقل صلابة. إنها خيوط رفيعة جداً إلى درجة أنها ظلت غير مفطون بها لمدة طويلة. ولكن بمجرد ما وقع الانتباه إليها لم يعد هناك من وسيلة تمنعنا من رؤيتها. إنها إذن، ليست أقل واقعية من تلك الروابط التي تمنح للأشياء الخارجية واقعيتها. وإذا كنا نتعرف اليوم على هذه الروابط بشكل أدق وأوسع، فإن ذلك لا يهم. لأن معرفتنا بها اليوم، لا تلغي المعرفة التي كانت لدينا عنها أمس.

يمكن القول مثلاً إن الأثير ليس أقل واقعية من أي جسم خارجي، ذلك لأن القول بأن هذا الجسم موجود معناه القول بأن بين لون هذا الجسم وطعمه ورائحته رابطة حميمة متينة ودائمة. والقول بأن الأثير موجود معناه القول بوجود قرابة طبيعية بين جميع الظواهر الضوئية. وإحدى هاتين القضيتين لا تقل قيمة عن الأخرى. وأكثر من ذلك فالتراكيب

العلمية هي أكثر واقعية من تأليفات الحس المشترك لأنها تشمل عدداً أكبر من الجوانب وتعمل على امتصاص التراكيب الجزئية.

سيقال إن العلم ليس سوى تصنيف، وإن التصنيف لا يمكن أن يكون حقيقياً، بل هو ملائم فقط. صحيح أنه ملائم ولكن، ليس فقط بالنسبة إليّ، بل بالنسبة إلى جميع الناس، وسيظل ملائماً بالنسبة إلى من سيأتي بعدنا. وهذا لا يمكن أن يكون مجرد صدفة.

والخلاصة أن الواقع الوحيد الذي يمكن وصفه بأنه موضوعي هو العلاقات القائمة بين الأشياء، التي ينتج عنها الانسجام الكلي. ولا شك أن هذه العلاقات وما يترتب عنها من انسجام لا يمكن تصورها خارج عقل يدركها أو يشعر بها. وهي موضوعية لأنها مشتركة بين جميع الكائنات المفكرة وستبقى كذلك.

كل ما ليس بفكرة هو عدم محض، لأننا لا نستطيع التفكير إلاّ في الفكرة، وإن جميع الكلمات التي تتوفر عليها قصد الكلام عن الأشياء لا تستطيع أن تعبر إلاّ عن الأفكار. والقول بوجود شيء آخر غير الفكرة هو إذن تأكيد ليس له معنى.

ومع ذلك ـ وهذا موضوع تناقض غريب بالنسبة إلى من يعتقدون في الزمان ـ فإن التاريخ الجيولوجي يبين لنا أن الحياة ليست سوى فصل قصير بين موتين أبديين، وأن الفكرة الواعية لم تدم ولن تدوم، في هذا الفصل نفسه، إلاّ لحظة. إن الفكرة ليست سوى برق وسط ليل طويل. ولكن هذا البرق هو كل شيء».

١٥ ـ المفاهيم الفيزيائية وموضوعية العالم الخارجي[١]

اينشتين

يشبه رأي اينشتين، في كثير من الوجوه، رأي بوانكاريه في موضوع المعرفة الفيزيائية وعلاقتها بالواقع الموضوعي. فكما أن بوانكاريه يقول إن المفاهيم العلمية هي عبارة عن مواضعات أو مصطلحات يضعها العلماء للتعبير عن أفكارهم حول الواقع ومظاهره، هذا الواقع الذي تتجدّد معرفتنا به، بتجدد العلم وتقدمه، عن طريق الاقتراب المستمر من حقيقة هذا الواقع، يرى اينشتين، من جهته أن المفاهيم العلمية ابداعات حرة للفكر البشري، يحاول بواسطتها أن يكوّن لنفسه صورة عن الواقع أقرب ما تكون من حقيقة هذا الواقع نفسه، حقيقته التي يقترب منها العلم دون أن يتمكّن من الامساك بها كلها كما هي. وإذن فلا بوانكاريه ـ كما رأينا في النص السابق ـ ولا اينشتين ـ كما سنرى في هذا النص ـ يضعان الواقع الموضوعي موضوع شك، فلم يربطه أي منهما بالذات وبأدوات القياس، بل يؤمنان بوجوده الموضوعي وباطراد حوادثه وبقدرة الفكر البشري على السير قدماً لاكتناه أسراره. أما القول بأن المفاهيم العلمية مجرد مواضعات أو أنها ابداعات حرة للفكر البشري فهو إنما يعكس مرحلة من تطور العلم، المرحلة التي عاشها العلم في بداية هذا القرن، والتي شهدت تحوّلاً أساسياً في المفاهيم الفيزيائية نتيجة قيام نظرية النسبية ونظرية الكوانتا. ولقد كانا من المناصرين لهذا التحول ومن زعمائه.

«المفاهيم الفيزيائية ابداعات حرة للفكر البشري، وليست كما يمكن أن يعتقد، محددة فقط من طرف العالم الخارجي وحده. والمجهود الذي نبذله لفهم العالم يجعلنا أشبه ما نكون بالرجل الذي يحاول فهم آلية ساعة مغلقة، فهو يرى ميناءها ويشاهد حركة عقاربها، ويسمع صوتها، ولكنه لا يملك أية وسيلة تمكنه من فتح صندوقها الصغير.

وإذا كان هذا الرجل على قدر كبير من الذكاء فإنه يستطيع أن يكوّن لنفسه صورة ما عن جهازها الداخلي الذي يعتبره مصدر حركة عقاربها، ولكنه لن يكون قط على يقين بأن الصورة التي كوّنها في ذهنه عن حقيقة التركيب الداخلي لهذا الجهاز، هي وحدها القادرة على تفسير ملاحظاته. إنه لن يتمكن قط من مقارنة صورته الذهنية هذه مع الجهاز الواقعي بل إنه لا يستطيع حتى تصور امكانية أو دلالة مثل هذه المقارنة.

---

(١) Albert Einstein et Léopold Infild, *L'Evolution des idées en physique*, petite bibliothèque (Paris: Payot, 1974).

غير أن الباحث (= الفيزيائي) يعتقد، بكل تأكيد، أنه بمقدار ما تنمو معلوماته، بمقدار ما تصير الصورة الذهنية التي يكوّنها عن الواقع، أكثر بساطة وأقدر على تفسير ميادين تتسع أكثر فأكثر، ميادين انطباعاته الحسية. إنه يستطيع أن يعتقد كذلك بوجود حد أمثل للمعرفة التي يستطيع الفكر البشري بلوغها. ويمكن أن يطلق على هذا الحد الأمثل إسم: الحقيقة الموضوعية...» (ص ٣٤ - ٣٥).

«ليس العلم مجموعة من القوانين ولا قائمة لأحداث غير مرتبطة بعضها مع بعض. إنه ابتكار للفكر البشري شيّده بواسطة أفكار ومفاهيم ابتدعها بكل حرية. والنظريات الفيزيائية تحاول صياغة صورة عن الواقع وربط هذه الصورة بعالم الانطباعات الحسية الواسع. وهكذا فبناءاتنا الذهنية إنما تجد تبريرها عندما تنجح في اقامة مثل هذه الرابطة وفي الكيفية التي تقيمها بها.

لقد رأينا (= في الكتاب) أنواعاً من الواقع تنشأ بتقدم العلم. ويمكن أن ترجع بهذه السلسلة من النشاط الخلاّق إلى ما قبل نقطة انطلاق الفيزياء بكثير.

من جملة المفاهيم الأولية (= الابتدائية) مفهوم الموضوع. إن مفهوم الشجرة، ومفهوم الحصان، أو مفهوم أي جسم مادي، مفاهيم أنشأها الفكر البشري، ولها أساس في التجربة، على الرغم من أن الانطباعات الحسية التي استقيناها منها انطباعات بدائية، وبالقياس إلى عالم الظواهر الفيزيائية. والقط الذي يعذب فأراً بشيء - في نفسه - بواسطة الفكر، واقعاً بدائياً. فكونه يرد الفعل دائماً بنفس الشكل ازاء أي فأر يصادفه، دليل على أنه يكوّن لنفسه مفاهيم ونظريات تقوده في عالم الانطباعات الحسية الخاص به.

«ثلاث أشجار» شيء يختلف عن «شجرتين اثنتين» من جهة، ومن جهة أخرى فـ «شجرتان اثنتان» و «حجران اثنان» شيئان مختلفان كذلك. هكذا بمفاهيم الأعداد المحض 2، 3، 4... المستخلصة من الموضوعات التي منحتها الوجود، هي منشآت للعقل المفكر، منشآت نصف واقع عالمنا.

والشعور الذاتي بالزمان يمكننا من ترتيب انطباعاتنا وجعل حادث ما سابقاً لحادث آخر. وأما ربط كل لحظة من الزمان برقم، باستعمال آلة ضبط الوقت، والنظر إلى الزمان كمتصل ذي بعد واحد، فهذا ابتكار واختراع. ومثل ذلك أيضاً المفاهيم الهندسية الأوقليدية واللاأوقليدية ومفاهيم المكان الذي نعيش فيه والذي نعتبره متصلاً ذا ثلاثة أبعاد.

لقد بدأت الفيزياء بداية فعلية عندما اخترعت مفهوم الكتلة ومفهوم القوة ومفهوم منظومة العطالة، وجميع هذه المفاهيم ابداعات حرة، وقد قادت إلى صياغة وجهة النظر الميكانيكية. وهكذا فبالنسبة إلى عالم الفيزياء الذي عاش في أوائل القرن التاسع عشر كان واقع عالمنا الخارجي مؤلفاً من ذرات وقوى بسيطة تتجاذبها، وتتوقف هذه القوى، فقط على المسافة التي تفصل بين تلك الذرات. لقد كان هذا العالم يحرص أشد الحرص على الحفاظ أطول وقت ممكن على ايمانه بأنه سينجح في تفسير جميع حوادث الطبيعة بواسطة هذه المفاهيم

الأساسية التي تعبر عن الواقع. ولقد قادتنا الصعوبات الناجمة عن انحراف الابرة الممغنطة والصعوبات الراجعة إلى بنية الأثير، إلى إنشاء واقع أكثر دقة، يتعلق الأمر بظهور ذلك الاكتشاف الهام، اكتشاف المجال الكهرطيسي. ولقد كان لا بد من خيال علمي جريء لإثبات أن ما هو أساسي بالنسبة إلى ترتيب الحوادث وفهمها ليس سلوك الأجسام ذاتها، بل سلوك شيء ما يوجد بينها، أي المجال.

وهكذا عملت التطورات اللاحقة على هدم المفاهيم القديمة وخلق مفاهيم جديدة. فلقد تخلت نظرية النسبة عن الزمان المطلق وعن المنظومات الاحداثية القائمة على مبدأ العطالة، ولم يعد الزمان ذو البعد الواحد والمكان ذو الأبعاد الثلاثة يشكلان الأرضية الخلفية للحوادث، بل أصبحت هذه الأرضية الخلفية عبارة عن زمكان (الزمان ـ المكان) ذي أربعة أبعاد، وهو ابتكار حر آخر، ذو خصائص تحويلية جديدة. إن منظومة الاحداثيات القائمة على مبدأ العطالة لم تعد ضرورية، فبإمكان أية منظومة احداثية أن تساعد هي كذلك على وصف الحوادث التي تجري في الطبيعة.

أما نظرية الكوانتا فقد أنشأت بدورها صياغات جديدة أساسية لواقعنا، لقد حل الانفصال محل الاتصال، والقوانين الاحتمالية (= التي «تحدد» سلوك المجموعات)، محل القوانين السببية (التي تحدد سلوك الأفراد).

والحق أن الواقع الذي أنشأته الفيزياء الحديثة هو أبعد ما يكون عن الواقع الذي عرفه العلم عند بداية قيامه. ومع ذلك فإن هدف كل نظرية فيزيائية هو نفسه دوماً.

إننا نحاول، بواسطة النظريات الفيزيائية، شق طريقنا وسط متاهات الحوادث التي نلاحظها، وتنظيم وفهم عالم انطباعاتنا الحسية راغبين في أن نجعل من الحوادث التي نلاحظها نتائج منطقية للمفهوم الذي لدينا عن الواقع. إنه بدون الايمان بإمكانية ادراك الواقع والإمساك بتلابيبه بواسطة انشاءاتنا النظرية، وبدون الايمان بالانسجام الداخلي لعالمنا، لن تقوم للعلم قائمة. وسيبقى هذا الايمان دوماً الحافز الأساسي لكل ابتكار علمي. ومن خلال جميع مجهوداتنا، ومن خلال كل صراع مأساوي بين المفاهيم القديمة والمفاهيم الجديدة، نتعرّف على تلك الرغبة الأبدية التي تحدونا إلى الفهم، وعلى ذلك الايمان الصامد دوماً، الايمان بانسجام عالمنا، الايمان الذي توطده باستمرار العوائق التي تعترض فهمنا» (ص ٢٧٤ ـ ٢٧٦).

١٦ ـ باشلار والعقلانية الجديدة

ندرج هنا ثلاثة نصوص لغاستون باشلار الذي عرفت مؤلفاته مؤخراً، وفي قرننا خاصة، اهتماماً متزايداً. وعلى الرغم من أننا اخترنا هذه النصوص من مؤلفات مختلفة للعالم الفيلسوف باشلار، فإنها تشكل وحدة متكاملة، وتصلح لأن تكون تركيباً للنصين السابقين (نص بوانكاريه ونص اينشتين)، بل تركيباً جدلياً لمختلف الاتجاهات الايستيمولوجية التي تناولت مشكلة المعرفة العلمية عقب الثورة الكوانتية.

يتناول النص الأول الانقلاب الذي أحدثته نظرية الكوانتا في الفكر العلمي الحديث في مجال تصور الواقع. إن الموضوع العلمي لم يعد معطى حسياً، بل هو انشاء عقلي، أي تنظيم عقلاني للعلاقات التي تربط الظواهر التي أصبح من غير الممكن التعامل معها بنفس الشكل الذي كانت تتعامل به معها الفيزياء الكلاسيكية. إن الواقع العلمي اليوم أصبح عبارة عن بنيات، لا عن كائنات.

أما النص الثاني فهو يتناول النزعة الواقعية العامية على ضوء هذا التطور نفسه. إن الشيء في الميكروفيزياء يفقد فرديته ويصبح عنصراً في مجموعة. ونحن لا نتعرف عليه إلاّ من خلال علاقاته بالمجموعة التي ينتمي إليها. وإذن فالتصور العامي الجديد للواقع تصور رياضي لافيزيائي واقعي، بالمعنى العادي لكلمة واقعية. إن الواقعية التي ينتقدها باشلار هنا هي الواقعية التي تنسب إلى الموضوعات العلمية، نفس الواقعية التي نسبها إلى الظواهر التي تعيش في كنفها في العالم الميكروسكوبي، ومن هنا يرفض باشلار النزعة التجريبية كما يرفض النزعة المثالية أو العقلانية الكلاسيكية التي تنسب إلى الفكر مبادىء قبلية.

وفي النص الثالث يأتي البديل. إنه **«العقلانية العلمية»** أو **«العقلانية الرياضية»** أو **«العقلانية التطبيقية»** أو **«الفلسفة المفتوحة»** وهي جميعاً أوصاف يصف بها باشلار فلسفته العلمية، وتعني شيئاً واحداً: العقلانية التي تقوم على الحوار بين العقل والتجربة، وترفض الانطلاق من مبادىء قبلية كما ترفض ربط الفكر وعملياته بالمعطيات التجريبية وحدها. لقد قرر باشلار في النص الأول أن الواقع العلمي بنية لا كائنات أو أشياء. وهو هنا يقرر أن الفكر هو أيضاً بنية تتشكل من خلال الممارسة العلمية، وإذن فنحن هنا أمام نفس النتيجة التي انتهينا إليها عند استعراضنا لتطور الفكر الرياضي. إن الفكر الرياضي الحديث والفكر الفيزيائي الحديث يلتقيان بل يندمجان في تصور واحد للمعرفة. (راجع الفصل الرابع من الجزء الأول من هذا الكتاب).

أولاً: بين علم الأمس وعلم اليوم

«لقد كان الاعتقاد السائد، إلى نهاية القرن الماضي، ان معرفتنا بالواقع معرفة موحدة، وأن التجربة هي التي تجعلها كذلك... وأكثر من هذا كله كان ذلك هو النتيجة التي تلتقي عندها أكثر الفلسفات تعارضاً. وفعلاً تكتشف التجربة عن طابعها الموحد من ناحيتين: فالتجريبيون يرون أن التجربة موحدة ومنتظمة في جوهرها، لأن مصدر المعرفة عندهم هو الإحساس. أما المثاليون فيرون أن التجربة منتظمة وموحدة لأنها تستعصي على العقل، فلا يخترقها ولا ينفذ إليها. وهكذا فالكائن التجريبي يشكل، سواء في حالة قبوله أو حالة رفضه، كتلة مطلقة (= Bloc جسم لا يقبل الاختراق مثل السد). وعلى كل، فلقد كان العلم السائد في القرن الماضي، والذي كان يعتقد أنه قد ابتعد عن كل اهتمام فلسفي يقدم نفسه كمعرفة موحدة منسجمة، كعلم بالعالم الخاص بنا، كمعرفة لها علاقة وطيدة بالتجربة اليومية، في نفس الوقت الذي ينظمها عقل كوني ثابت، وتتوافق مع مصلحتنا المشتركة وتنال تزكيتها. لقد كان العالم حسب عبارة كونراد Conrad، «واحد منا» يعيش في واقعنا، ويتداول أشياءنا، ويتعلم من الظواهر التي نعيشها، ويجد البداهة في وضوح حدوسنا. لقد كان ينمي استدلالاته ويعالج براهينه باتباع هندستنا وميكانيكانا، معرضاً عن مناقشة مبادىء القياس، تاركاً العالم الرياضي مع بديهياته ومسلماته. لقد كان يقوم بتعداد الأشياء المنفصلة دون أن يكون في حاجة إلى افتراض أنواع أخرى من الأعداد غير تلك التي ألفناها وتعودنا استعمالها. كان هناك نوع واحد من الحساب مشتركاً بيننا وبينه، كان العلم والفلسفة يتحدثان معاً نفس اللغة. أما تلامذتنا الفلاسفة فلقد كانوا يدرسون هذا العلم نفسه، العلم التجريبي الذي تنص عليه التعليمات والبرامج الوزارية. لقد كنا نقول للتلاميذ: عليكم بالميزان والقياس والعدد وتجنبوا المجردات والقواعد العامة. لقد كان الشعار السائد هو: عوّدوا الأذهان الشابة على الارتباط بالمشخص والاهتمام بالحوادث. انظر كي تفهم! ذلك هو المثل الأعلى لهذه البيداغوجية الغريبة، ولا يهم إذا انطلق الفكر، بعد ذلك، من الظاهرة التي أسيئت رؤيتها، أو من التجربة التي أسيء القيام بها. ولا يهم كذلك إذا انطلقت الرابطة الابستيمولوجية المصاغة بهذا الشكل، من الملاحظة المباشرة ومنطقها البدائي، لتجد تحقيقها دوماً في التجربة العامية، بدلاً من أن تنطلق تلك الرابطة من أبحاث مبرمجة عقلانياً لتصل إلى عزل الحادث العلمي وتعريفه تجريبياً، الحادث العلمي الذي هو دوماً حادث مصنوع ودقيق وخفي.

ولكن ها هي الفيزياء المعاصرة تحمل إلينا أخبار عالم مجهول، أخباراً محررة بلغة «هيروغليفية» حسب تعبير الـمسيو والتر ريز Walter Ritz، لغة نحس عندما نحاول الكشف عن ألغازها، أن رموزها المجهولة لا تقبل الترجمة، بكيفية مرضية إلى مستوى عاداتنا السيكولوجية، رموزاً تستعصي بكيفية خاصة على الطريقة التي اعتدناها في التحليل، والتي جعلتنا نتعود فصل الشيء عن نشاطه (= حركته). هل هناك في عالم الذرة المجهول اندماج وانصهار بين العقل والكائن، بين الموجة والجسيم؟ هل ينبغي الحديث عن مظاهر متكاملة أم عن أنواع من الواقع متكاملة؟ ألا يتعلق الأمر بتضافر أعمق بين الشيء والحركة، بطاقة

معقدة يلتقي فيها ما هو موجود وما سيكون؟ وأخيراً فإذا كانت هذه الظواهر (= الذرية) الملتبسة المتداخلة لا تشير إلى الأشياء التي ألفناها، فإن التساؤل عما إذا كانت هذه الظواهر تشير فعلاً إلى أشياء يطرح مشكلة ذات أهمية فلسفية بالغة؟ ومن هنا ذلك الاضطراب العام الذي أصاب المبادىء الواقعية المتعلقة بالنمو الخاص باللانهاية الصغرى. لقد أصبح الاسم الموصوف في هذه التراكيب الجديدة غير معرّف بدقة، الشيء الذي يفقده مكانته الرئيسية في الجملة. لم يعد الشيء هو القادر على امدادنا بمعلومات كما ترتئي ذلك النزعة التجريبية. إن الشيء الميكروسكوبي لا يزيدنا معرفة عندما نعزله، فالجسم المعزول يتحوّل إلى مركز اشعاعي لظاهرة أكبر. أما إذا نظر إليه من خلال دوره الفيزيائي، فإنه ينحل إلى وسيلة التحليل، أكثر من ظهوره كموضوع للمعرفة التجريبية. إنه حجة عقلية وليس عالماً للاستكشاف. وسيكون مما لا طائل تحته السير بالتحليل إلى درجة يصبح معها الشيء الواحد معزولاً من جميع الجهات، لأن هذا الشيء الوحيد يفقد بذلك، فيما يبدو، الخصائص التي تجعل منه جوهراً. إن الخصائص التي من هذا النوع لا توجد إلاّ فوق العالم الميكروسكوبي لا تحته.. إن جوهر اللانهائي في الصغر متزامن مع العلاقة وملازم لها.

وإذن، فبما أن الواقع يصبح غير قابل للتفرّد والتميز فيزيائياً كلما غصنا في أعماق فيزياء الأشياء اللانهائية الصغر، فإن العالم الباحث سيعطي أهمية أكبر لنظام العلاقات في تجاربه بمقدار ما يدقق في هذه التجارب، وبما أن القياس الدقيق معقد دوماً، فهو إذن تجربة منظمة على أساس العلاقات. وتلك هي الهزّة الثانية التي أصابت الايبستيمولوجية المعاصرة وعلينا أن نبرز أهميتها الفلسفية. وحسب ما يظهر فإن البناء الرياضي للفرضيات الميتافيزيقية يكذب النظرية التي تنسب إلى الفرضيات دوراً مؤقتاً عابراً. لقد كان ينظر إلى الفرضيات العلمية، في القرن التاسع عشر، كتنظيمات تخطيطية وحتى بداغوجية، وكان يحلو للناس أن يكرروا القول بأنها مجرد وسائل للتعبير. لقد كان الاعتقاد السائد هو أن العلم واقعي بموضوعاته، فرضي بالروابط التي تربط هذه الموضوعات، وكان الباحثون يتخلون عن الفرضيات بمجرد ما يعترضهم أدنى تناقض أو أدنى صعوبة تجريبية، فدور الفرضيات كان ينحصر في الرابط بين الأشياء، وكانت الفرضيات نفسها مجرد مواضعات. ذلك ما كان يحصل وكأنه كانت هناك وسيلة أخرى لجعل مواضعة علمية ما تتصف بالموضوعية غير طابعها العقلي. أما اليوم فلقد قلب الفيزيائي الجديد رأساً على عقب، ذلك الأفق الذي رسمه للفرضية، وبصبر، المسيو فايتغر Vaihinger. لقد أصبحت الموضوعات يعبر عنها بواسطة التشبيهات، أما الواقع فهو تنظيم تلك الموضوعات في علاقات. وبعبارة أخرى، إن ما هو فرضي الآن هو ما كنا نعتبره ظواهر، ذلك لأن الاتصال المباشر بالواقع أصبح مجرد معطى مبهم ومؤقت واصطلاحي. إن الاتصال بالظواهر يتطلب احصاء وتصنيفاً، وذلك على العكس من التفكير فهو وحده الذي يعطي معنى للظاهرة الأصلية، وذلك بالقيام بأبحاث مترابطة ترابط المجموعة العضوية، إنه يفتح آفاقاً عقلية للتجارب. لم يعد في مستطاعنا منح ثقتنا، قبلياً، للمعلومات التي يزعم المعطى المباشر أنه يمدنا بها. لم يعد هذا المعطى حكماً ولا شاهداً، بل إنه أصبح متهماً. ولا بد من أن نتمكن آجلاً أو عاجلاً من إثبات أنه يكذب. ولذلك، فالمعرفة العلمية هي دوماً

اصلاح لوهم، وإذن لم يعد في امكاننا النظر إلى الوصف الذي تقوم به للعالم المباشر، مهما كان هذا الوصف دقيقاً إلا كفينومينولوجيا للعمل، وذلك في نفس المعنى الذي كانت تستعمل فيه من قبل، عبارة: فرضية العمل»[1].

ثانياً: مفهوم الواقع في العلم الحديث

«... لقد أبرز كثير من الفيزيائيين هذا التلاشي المفاجيء الذي تتعرض له فردية الجسيم في الفيزياء المعاصرة. ذلك ما نبّه إليه بكيفية خاصة، كل من لانجوفان وبلانك. وقد أشار مارسيل بول إلى الأهمية الفلسفية التي يكتسيها هذا الرأي، فقال[2]: «فكما قضت نسبية اينشتين على المفهوم القديم للقوة والمستمد من التشبيه بالمجهود العضلي للإنسان، يجب التخلي كذلك عن مفهوم الموضوع والشيء، على الأقل عندما يتعلق الأمر بدراسة العالم الذري. إن الفردية مفهوم يلازمه التعقيد دوماً، والجسيم المعزول هو أبسط من أن يتحت بالفردية. وهذا الموقف الذي يقفه العلم الراهن ازاء مفهوم الشيء يتفق، ليس مع الميكانيكا الموجية وحسب، بل أيضاً مع النظرية الجديدة في الاحصاء ومع نظرية المجال الموحد كذلك، النظرية التي قال بها اينشتين والتي تحاول جاهدة دمج الجاذبية في الكهرطيسية دمجاً تركيبياً». وقد كتب المسيو روير N. Ruyer في موضوع النقطة الأخيرة قائلاً: «إنه لغريب هذا الالتقاء الذي نشاهده بين نظرية الكوانتا ونظرية اينشتين في المجال الموحد التي لم تكن لها أية علاقة مع الكوانتا. فالنظريتان معاً تلغيان الفردية الفيزيائية عند دراسة مختلف النقاط التي يتشكل منها السيال (أو المائع) المادي أو الكهربائي القائم على فرضية الاتصال»[3]. ويحيل المسيو روير أيضاً، وبصدد نفس الموضوع، إلى المقال العميق الذي كتبه المسيو كارتان Cartan، والذي جاء في خاتمته[4]: «لقد كانت النقطة المادية (أول الأمر) مجرد مفهوم رياضي تجريدي ألفناه واعتدناه إلى درجة أصبحنا معها، في نهاية الأمر، نعتبره واقعاً فيزيائياً، وإذا تمكنت نظرية المجال الموحد من تثبيت أقدامها فإننا سنضطر حتماً إلى التخلي عن هذا الواقع الفيزيائي الوهمي».

ولقد ناقش المسيو مايرسون Mayerson بتطويل هذه الأطروحة[5] ولم يمنحها ـ وهو العالم الايبستيمولوجي الذي كان يفكر كفيزيائي لا كرياضي ـ مساندته ولا موافقته، لأنه لم يستطع التخلي عن المرتكزات الثابتة التي يستند إليها الفيزيائي والتي ترجع في أساسها إلى النزعة

---

(١) «Noumène et microphisique,» dans: *Etudes sur l'évolution d'un problème de physique* (Paris: Vrin, 1970).

(٢) Marcel Boll, *L'Idée générale de la mécanique ondulatoire et de ses premières applications: Atome d'hydrogène, phénomènes chimiques, condution électrique* (Paris: Hermann et cie, 1923), p. 32.

(٣) انظر: N. Ruyer, dans: *Revue philosophique* (juillet 1932), p. 99.

(٤) انظر: Cartan, dans: *Revue philosophique* (juillet 1932), p. 28.

(٥) Emile Meyerson, *Réel et déterminisme dans la physique quantique* (Paris: Hermann et cie, 1933).

الواقعية الرائجة. ولكن هل ينبغي لنا أن نستمر في التمييز تمييزاً جذرياً بين الفكر العلمي الذي يغتذي من الرياضيات والفكر العلمي الذي تغذيه التجربة الفيزيائية؟ وإذا كان ما قلناه عن الأهمية المفاجئة التي تكتسيها الفيزياء الرياضية صحيحاً، أفلا يمكن أن نتحدث عن فكر علمي جديد تغذيه الفيزياء الرياضية؟ وإذا صح هذا فإننا سنكون أمام ضرورة البحث عن وسيلة تمكّننا من تحقيق الانسجام بين النزعة العقلانية والنزعة الواقعية. ولكن، ألا نجد هنا بالذات مثل هذه الوسيلة؟ أليست عناصر الواقع المحرومة من فرديتها غير قابلة لأن يميز بعضها عن بعض في الوقت الذي تمارس فيه تأثيرها في التأليفات التي هي بمعنى ما من المعاني تأليفات عقلية باعتبار أن العقل هو الذي يكتشفها؟ إننا نعتقد أن ما يمنح لموقف المسيو لانجوفان كامل قوته الفلسفية، هو أن الأمر هنا يتعلق بواقع فرضي (أي يؤخذ كفرضية)، ولذلك كان عدم تخصيص هذا الواقع الفرضي بفردية خاصة ضرورة منهجية. لم يعد من حق الباحث أن ينسب، لعناصر غير قابلة للتحديد إلاّ داخل مجموعة، خصائص فردية، وفضلاً عن ذلك فهو لا يتوفر على وسيلة تمكّنه من ذلك، إذن فالنزعة الواقعية العادية خاطئة. يجب إذن أن نحارب بيقظة ذلك التناول الواقعي للأمور في ميدان الميكروفيزياء. إن الفكر العلمي يجد نفسه اليوم في وضعية شبيهة نوعاً ما بالوضعية التي كان يوجد فيها حساب اللانهايات الصغرى عند بداية نشأته. نحن هنا ازاء لانهائي الصغر الفيزيائي نعيش نفس الوضعية الشائكة التي عاشها الفكر الرياضي في القرن السابع عشر، عندما كان يواجه لأول مرة اللانهائي الصغر الرياضي...

وعلى هذا، يبدو أن هناك في اللحظة التي تفصل بين انهيار الموضوع العلمي وبين بناء واقع علمي جديد، مكاناً لفكر لاواقعي، فكر متحرك يساوق حركته وفعاليته. سيقال إنها لحظة قصيرة عابرة، لا تساوي شيئاً إذا ما قورنت بالفترات الزمنية التي يعيشها العلم المكتسب، العلم الذي أرسيت دعائمه وتم بالشرح والتفسير، وأصبح مادة للتعليم. ومع ذلك، ففي هذه اللحظة القصيرة، بالضبط، يجب اقتناص المنعطف الحاسم في الفكر العلمي. فبالعناية بهذه اللحظات أثناء التعليم وبإبرازها وإعادة بنائها، يمكن تأسيس الفكر العلمي على ديناميته وجدليته. وهنا، في عملية التأسيس تلك، تنشأ التناقضات التجريبية المباغتة، وتحوم الشكوك حول بداهة المسلمات، وتبرز تلك التأليفات القبلية التي تكشف عن المظهر المزدوج للواقع، مثل ذلك التأليف الذي يتم عن عبقرية، والذي قام به المسيو لوي دوبري، ومثل تلك التحولات الفكرية الرفيعة التي نجد أوضح مثال لها في مبدأ التكافؤ الذي قال به اينشتين. ذلك المبدأ الذي تتهافت أمامه حجج المسير مايرسون التي تحاول أن تثبت أن القوة جوهر، كما اعتقد الناس ذلك طويلاً. ولكي تتبين تفاهة الصبغة الواقعية التي تضفيها على الجاذبية يكفي أن تتذكر أن تغيير المنظومة المرجعية، تغييراً معلوماً مدروساً بعناية، يؤدي إلى محو الجاذبية تماماً.

وهكذا، فمهما طالت فترات الاستقرار التي تنعم بها النظرة الواقعية، فإن ما ينبغي أن يلفت انتباهنا حقاً هو أن جميع الثروات الخصبة التي عرفها الفكر العلمي هي عبارة عن أزمات تجعل اعادة النظر بشكل جذري، في النظرة الواقعية أمراً ضرورياً. وأكثر من هذا

يجب أن نعرف أن الفكر الواقعي لا يستحدث من ذاته أزماته الخاصة. لم يحدث هذا قط. إن الاستثارة الثورية تأتيه من الخارج دوماً، وبالضبط من ميدان المجرد، الميدان الذي فيه تنشأ ومنه تنطلق. إن منابع الفكر العلمي المعاصر تنتمي إلى ميدان الرياضيات»[٦].

ثالثاً: العقلانية العلمية أو الفلسفة المفتوحة

«إذا جاز لنا أن نترجم إلى اللغة الفلسفية تلك الحركة المزدوجة التي تغذي الفكر العلمي، في الوقت الراهن، قلنا إنها حركة تتأرجح لزوماً بين ما هو قبلي وما هو بعدي، حركة ترتبط فيها النزعة التجريبية بالنزعة العقلانية، في الفكر العلمي، ارتباطاً غريباً، لا يقل قوة عن ارتباط اللذة بالألم. والواقع أن كل واحدة منهما تعزز الأخرى وتبررها: إن النزعة التجريبية في حاجة إلى أن تتعقل، والنزعة العقلانية في حاجة إلى أن تطبق. فبدون قوانين واضحة، استنتاجية، مترابطة ومنسجمة لا يمكن للنزعة التجريبية أن تكون موضوعاً للتفكير، ولا مادة للتعليم. وبدون براهين ملموسة، وبدون التطبيق على الواقع المباشر، لا يمكن للنزعة العقلانية أن تتوفر على قوة الاقناع التام. فالقانون التجريبي لا تتأكد قيمته إلا عندما يصبح أساساً للتجربة. إن العلم، الذي يقوم على الجمع بين البراهين والتجارب، وبين القواعد والقوانين، بين البداهة والحوادث، هو إذن في حاجة إلى فلسفة ذات قطبين، وبعبارة أدق، هو في حاجة إلى نمو ديالكتيكي لأن المفهوم لا يتضح إلا بالنظر إليه نظرة متكاملة، ومن وجهتي نظر فلسفتين مختلفتين.

وسيسيء القارىء فهم ما نقوله هذا، إذا اعتبر ذلك مجرد اعتراف بالثنائية. إننا نرى بالعكس من ذلك، أن تحرك المعرفة بين قطبين ابيستمولوجيين متناقضين دليل على أن النزعتين الفلسفيتين، التجريبية والعقلانية، يكمل كل منهما الآخر ويسير به إلى منتهاه. ولذلك، فأن يفكر الانسان تفكيراً علمياً معناه أن يضع نفسه في المجال (أو الحقل) الابيستمولوجي الذي يقوم واسطة بين النظرية والتطبيق، بين الرياضيات والتجربة، وأن تكون معرفته بقانون طبيعي، معرفة علمية معناه أن يعرفه، في آن واحد، كظاهرة وكشيء في ذاته...

ويجب أن نضيف إلى ذلك أننا نرى أنه لا بد من تفضيل أحد هذين الاتجاهين الميتافيزيقيين على الآخر، وبالذات الاتجاه الذي يسير من العقلانية إلى التجربة. وسنحاول أن نبين كيف أن فلسفة العلم الفيزيائي الراهن تتميز بهذه الحركة الابيستمولوجية، وإذن،

---

(٦) Gaston Bachelard, *Le Nouvel esprit scientifique* (Paris: Presses universitaires de France, 1971), p. 132.

هذا وقد ترجم د. عادل العوا هذا الكتاب إلى اللغة العربية وصدر عن (دمشق: منشورات وزارة الثقافة والسياحة والارشاد القومي، ١٩٦٩). وقد جاءت هذه الترجمة ركيكة لا تكاد تفهم، علاوة على أخطاء في المعنى. قارن هذا النص مع الترجمة العربية، ص ١٢٧ وما بعدها، و١٣١ وما بعدها.

فالتفسير الذي سنقترحه للأولوية والتفوق اللذين حظيت بهما، حديثاً، الفيزياء الرياضية، سيكون عقلاني الاتجاه.

إن هذه العقلانية المطبقة، هذه العقلانية التي تترجم المعلومات التي يمدّنا بها الواقع إلى برنامج للإنجاز والتحقيق، تتميز في نظرنا، بشيء جديد تماماً. إن التطبيق في هذه العقلانية، الرائدة الاستكشافية ليس تشويهاً، وهي بهذا تختلف اختلافاً كبيراً عن العقلانية التقليدية. ومن ثمة فإن النشاط العلمي الذي تقوده العقلانية الرياضية ليس تجارة في المبادىء، ولا تلاعباً بها. إن انجاز برنامج من التجارب، برنامج منظم تنظيماً عقلانياً، يحدد واقعاً تجريبياً خالياً من أي عنصر لاعقلاني وستاح لنا الفرصة لتبين أن الظاهرة المنظمة (= الحادث العلمي) هي أكثر غنى من الظاهرة الطبيعية (= الحادث الخام). أما الآن فيكفي أننا أبعدنا من ذهن القارىء تلك الفكرة الشائعة التي مؤداها أن الواقع مرتع خصب للامعقول لا ينضب ولا ينفد. إن العلم الفيزيائي المعاصر بناء عقلاني، فهو يبعد من الأدوات التي يشيد بها صرحه كل صبغة عقلية، ويجنب الظاهرة المشيدة من كل انحراف لاعقلي. وكما هو واضح، فإن العقلانية التي ندافع عنها تقف ضد المناقشات البوليميكية التي تستند، من أجل تأكيد واقع ما، على الصبغة اللاعقلانية التي تتصف بها الظاهرة، تلك المناقشات التي ترى أن الظاهرة يلازمها عنصر عقلي لا يمكن سبر أغواره. أما بالنسبة إلى العقلانية العلمية فهي لا ترى في التطبيق العلمي هزيمة لها، ولا تلجأ إليه كحل وسط، بل إنها تريد أن تطبق، وإذا ما طبقت تطبيقاً سيئاً فإنها تعدل من نفسها، وهذا لا يعني أنها تتنكر لمبادئها، بل تجددها (= تطبق الجدل أو الديالكتيك عليها). وأخيراً فلربما كانت فلسفة العلم الفيزيائي الفلسفة الوحيدة التي تعمل، بواسطة التطبيق وخلاله، على تجاوز مبادئها (= تجاوزاً ديالكتيكياً). وبكلمة واحدة انها الفلسفة الوحيدة المفتوحة، أما الفلسفات الأخرى فهي كلها تضع مبادئها فوق كل مراجعة، وتعتبر حقائقها حقائق كلية ونهائية. إنها فلسفات منغلقة تفتخر بهذا الانغلاق.

وبناء عليه، ألا يكون من الضروري القول: إن على الفلسفة التي تريد أن تنسجم فعلاً مع الفكر العلمي المتطور باستمرار، أن تعمد إلى دراسة ما تحدثه المعارف العلمية من تأثير وردود فعل في بنية الفكر؟ إننا هنا سنجد أنفسنا نصطدم، منذ بداية طرحنا للدور الذي يمكن أن يكون لفلسفة ما في العلوم، مع مشكلة نرى أنها مشكلة بنية الفكر وتطوره. وهنا أيضاً سنجد نفس المواقف المتعارضة: فالعالم يعتقد أنه ينطلق في بحثه من فكر لا بنية له، فكر خال من أية أفكار قبلية، أما الفيلسوف فهو ينطلق، في الغالب من فكر تمّ بناؤه، فكر يتوفر على المقولات الضرورية لفهم الواقع.

فبالنسبة إلى العالم، تنبثق المعرفة من الجهل، كما ينبثق الضوء من الظلام، فهو لا يرى أن الجهل عبارة عن نسيج من الأخطاء الايجابية، المكينة، المتماسكة. إنه لا يدخل في حسابه أن للظلمات الفكرية (= الجهل) بنية خاصة، وأنه، بهذا الاعتبار، يجب على كل تجربة موضوعية صحيحة أن تعمل دوماً على تحديد الكيفية التي يتم بها تصحيح خطأ ذاتي. غير أن الأخطاء لا يمكن القضاء عليها بسهولة، واحداً فواحداً، فهي متماسكة يشدّ بعضها بعضاً.

ولذلك فالفكر العلمي لا يمكن أن يشيّد إلاّ من خلال عملية هدم للفكر اللاعلمي. قد يحدث في الغالب أن يمنح العالم ثقته لبداغوجية جزئية، في حين أن الفكر العلمي يجب أن يسعى إلى اصلاح كلي وشامل للذات. واذا كان كل تقدم فعلي في الفكر العلمي يستلزم تحويلا ما، فإن ما حصل من تقدم في الفكر العلمي المعاصر قد أحدث تغيرات وتحويلات في المبادىء نفسها، مبادىء المعرفة.

أما بالنسبة إلى الفيلسوف الذي يجد في نفسه، بحكم مهنته، حقائق أولية قبلية، فإن الموضوع المأخوذ بكليته، هو في غير حاجة إلى تأكيد المبادىء العامة. فأنواع الانحراف والتغير التي تعتري الموضوع لا تسبب للفيلسوف أي اضطراب أو قلق. فإذا رأى فيها مجرد تفاصيل لا فائدة فيها أهملها، أما إذا رأى فيها وسيلة تجعله يقتنع أنه بدون المعطى الموضوعي يتصف بلا معقولية أساسية، جمعها وكدّسها. وفي كلتا الحالتين، فالفيلسوف مستعد لإنشاء فلسفة للعلم، واضحة وسريعة وسهلة. ولكنها تظل دوماً فلسفة الفيلسوف. وفي هذه الحالة تكفيه حقيقة واحدة للخروج من الشك والجهل واللاعقلانية، تكفيه حقيقة واحدة لإضاءة النفس. إن بداهة هذه الحقيقة الوحيدة تنعكس انعكاسات لا نهاية لها. إن هذه البداهة عبارة عن حقيقة وحيدة ليست لها أنواع ولا أصناف، فالفكر يعيش بداهة واحدة، فهو لا يحاول أن ينشىء لنفسه بداهات أخرى. إن هوية الفكر في «أنا أفكر» هي من الوضوح بحيث إن العلم بهذا الوعي الواضح ينقلب تواً إلى وعي بالعلم، إلى يقين بتأسيس فلسفة للمعرفة. إن الوعي بهوية الفكر في مختلف معارفه يمد الفكر بمنهج مضمون، منهج دائم، أساسي ونهائي. فكيف يمكن إذن، أمام مثل هذا النجاح، طرح مسألة ضرورة تعديل الفكر والسعي إلى البحث عن معارف جديدة؟ إن المناهج العلمية، بالنسبة إلى الفيلسوف، على الرغم من تنوّعها ومرونتها وتغطيتها مختلف العلوم، تنطلق، مع ذلك، من منهاج أولي، موضوع سلفاً، منهاج عام يشكل المعرفة كلها ويعطيها صورتها ويتناول جميع الموضوعات بنفس الشكل. ولذلك فالأطروحة التي نـدافع عنها، والتي تنظر إلى المعرفة كتطور للفكر وتقبل التغيرات التي تمس وحدة الـ «أنا أفكر» وثباته وخلوده، إن أطروحة كهذه، لا بد أن تقلق الفيلسوف.

وتلك بالضبط هي النتيجة التي لا بد من الوصول إليها إذا أردنا أن نعرف فلسفة المعرفة العلمية بكونها فلسفة مفتوحة، بوصفها وعياً لفكر يؤسس نفسه بالعمل في المجهول، والبحث في الواقع عما يكذب المعرفة، تقول لا للتجربة القديمة. ومن البديهي أن بدون هذا لن يتعلق الأمر بتجربة جديدة حقاً. غير أن هذا الموقف الذي تعبر عنه كلمة «لا»، ليس نهائياً أبداً، بالنسبة إلى من يعرف كيف يخضع مبادئه للديالكتيك، ويبني في نفسه أنواعاً جديدة من البداهة، ويغني قواه التفسيرية، دون أن يعطي أي امتياز لأية قوى تفسيرية طبيعية مختصة في تفسير كل شيء.

... ولكي نوضح وجهة نظرنا بجلاء أكثر نأخذ من ميدان النزعة التجريبية نفسها مثالاً أبعد ما يكون عن تزكية أطروحتنا، نقصد بذلك ما نسميه بـ «التعالي التجريبي»

ونحن نعتقد فعلاً أن هذه العبارة لا تنطوي على أية مبالغة Transcendance experimentaire عندما نستعملها لتعريف العلم الذي يقوم على الآلات والقياس ووصفه بأنه علم متعال عن العلم الذي يقوم على الملاحظة الطبيعية. هناك قطيعة بين المعرفة الحسية والمعرفة العلمية. فنحن نرى درجة الحرارة مسجلة على الترمومتر، أقول نراها ولا أقول نحس بها، وبدون نظرية، لن نتمكن أبداً من معرفة ما إذا كانت درجة الحرارة التي نراها والحرارة التي نحس بها تنطبقان فعلا على نفس الظاهرة. وسنرد في هذا الكتاب على الاعتراض الذي يزعم تلخيص التجارب العلمية بقراءة ما تسجله آلات القياس، والواقع أن موضوعية الاختبار والتحقيق لدى قراءة ما تسجله الآلات تعتبر الفكرة التي نختبرها فكرة موضوعية، وبذلك يتم بسرعة إحلال واقعية الدالة الرياضية محل الواقع الذي يعبّر عنه المنحنى الهندسي الذي ترسمه التجربة العلمية.

وإذا ما بقي هناك من يعارض الأطروحة التي ندافع عنها، والتي تضع آلة القياس فيما وراء الحاسة الجسمية، فإن لدينا سلسلة احتياطية من الحجج التي نستطيع بواسطتها أن نبرهن على أن الميكروفيزياء تفترض موضوعاً يقع فيما وراء الموضوعات العادية، وإذن فهناك على الأقل قطيعة في النظرة الموضوعية، الشيء الذي يجعلنا على حق حينها نقول إن التجربة في العلوم الفيزيائية تجربة غير منغلقة على نفسها، بل تجربة متعالية لها ماوراء. والعقلانية التي تعطي لهذه التجربة صورتها وشكلها يجب أن تقبل ذلك الانفتاح الملازم لهذا التعالي التجريبي. إن الفلسفة النقدية التي ستبرز تماسكها وصلابتها يجب أن تقبل ما يستلزمه هذا الانفتاح من تعديلات، وبكلمة بسيطة، فبما أنه من الضروري جعل الأطر الذهنية مرنة لينة، فإن سيكولوجية الفكر العلمي يجب أن ترسى على أسس جديدة. إن الثقافة العلمية مطالبة بإحداث تغيرات عميقة في الفكر»[7].

---

(٧) Gaston Bachelard, *La Philosophie du non: Essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique*, bibliothèque de la philosophie contemporaine (Paris: Presses universitaires de France, 1949), pp. 4-11.

المراجع

١ ـ العربية

كتب

بلدي، نجيب. باسكال. القاهرة: دار المعارف، [د. ت.]. (سلسلة نوابغ الفكر الغربي)

ـــــ. ديكارت. القاهرة: دار المعارف، [د. ت.]. (سلسلة نوابغ الفكر الغربي)

راندل، جون هرمان. **تكوين العقل الحديث**. ترجمة جورج طعمة. بيروت: دار الثقافة، ١٩٥٥. ٢ ج.

ريشنباخ، هانز. **نشأة الفلسفة العلمية**. ترجمة فؤاد زكريا. القاهرة: دار الكتاب العربي، ١٩٦٨.

شوكلين. **في عالم الجسيمات**. موسكو: دار مير، ١٩٧٢.

العالم، محمود أمين. **فلسفة المصادفة**. القاهرة: دار المعارف، ١٩٧٠. (مكتبة الدراسات الفلسفية)

الغزالي، أبو حامد محمد بن محمد. **تهافت الفلاسفة**. تحقيق موريس بويج؛ مع مقدمة لماجد فخري. بيروت: المطبعة الكاثوليكية، ١٩٦٢.

النشار، علي سامي. **مناهج البحث عند مفكري الاسلام ونقد المسلمين للمنطق الأرسطاطاليسي**. ط ٢. القاهرة: دار المعارف، ١٩٦٧.

مؤتمرات

المؤتمر الدولي للاتحاد العالمي لفلسفة العلوم.

٢ ـ الأجنبية

Books

Alquié, Ferdinand. *Descartes: L'Homme et l'œuvre.* Paris: Hatier-Boivin, 1956. (Connaissance des lettres; 45)

———. *L'Expérience.* Paris: Presses universitaires de France, 1966. (Initiation philosophique)

Bachelard, Gaston. *La Formation de l'esprit scientifique: Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective.* Paris: J. Vrin, 1976.

———. *Le Nouvel esprit scientifique.* Paris: Presses universitaires de France, 1971.

———. *La Philosophie du non: Essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique.* Paris: Presses universitaires de France, 1949. (Bibliothèque de la philosophie contemporaine)

———. *Le Rationalisme appliqué.* Paris: Presses universitaires de France, [s.d.].

Bayer, Raymond. *Epistémologie et logique depuis Kant jusqu'à nos jours.* Paris: Presses universitaires de France, 1954. (Philosophie de la matière; 4)

Bénézé, Georges. *La Méthode expérimentale.* Paris: Presses universitaires de France, 1960.

Bernard, Claude. *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale.* Paris: Librairie delagrave, 1920.

Blanché, Robert. *L'Epistémologie.* Paris: Presses universitaires de France, 1972. («Que sais-je?»; no. 1475)

———. *La Méthode expérimentale et la philosophie de la physique.* Paris: Armand Colin, 1969. (Collection U_2; 46)

———. *Le Rationalisme de Whewell.* Paris: F. Alcan, 1935.

Bohr, Niels Henrik David. *Physique atomique et connaissance humaine.* Traduction: Bauer et R. Omnes. Paris: Gauthier-Villars, 1972.

———. *La Théorie atomique de la description des phénomènes.* Quatre articles procédés d'une introduction par Niels Bohr. Traduction: André Legros et Leon Rosenfeld. Paris: Gauthier-Villars et cie, 1932.

Boll, Marcel. *Histoire de la mécanique.* Paris: Presses universitaires de France, 1961. («Que sais-je?» le point des connaissances actuelles; 130)

———. *L'Idée générale de la mécanique ondulatoire et de ses premières applications: Atome d'hydrogène, phénomènes chimiques, conduction électrique.* Paris: Hermann et cie, 1932.

Bouligand, Georges [et al.]. *Hommage à Gaston Bachelard.* Paris: Presses universitaires de France, 1917.

Boutroux, Emile. *Pascal.* Paris: Hachette, 1900. (Les Grands écrivains français)

Bridgman, Percy Williams. *The Logic of Modern Physics*. New York: The Macmillan Company, 1949.
Broglie, Louis de. *Continu et discontinu en physique moderne*. Paris: Albin Michel. 1949.
———. *Matière et lumière*.
———. *La Physique quantique restera-t-elle indéterministe?*. Paris: Gauthier-Villars, 1973.
Brunschvicg, Léon. *L'Expérience humaine et la causalité physique*. [s.l.: s.n.], 1922.
———. *Le Génie de Pascal*. Paris: [s.n.], 1924.
———. *La Physique du vingtième siècle et la philosophie*. Paris: Hermann, 1936.
Cavalles, J. *Sur la logique et la théorie de la science*. Paris: Presses universitaires de France, [s.n.].
Chevalier, Jacques. *Pascal*. Paris: Plon, [1922]. (Les Maîtres de la pensée française)
Chister, Michael. *La Relativité*. Paris: Ed. Inter-nationales, 1970.
Comte, Auguste. *Cours de philosophie positive*. Introduction et commentaire par Ch. la Vernier. Paris: Librairie Garnier Frères, 1926. (Collection classique Garenir)
Cornot, Antoine August. *Exposition de la théorie des chances et des probabilités*. Paris: Hachette, 1843.
Coudere, Paul. *Histoire de l'astronomie*. Paris: Presses universitaires de France, 1960. («Que sais-je?»; no. 165)
Cresson, André. *Francis Bacon, sa vie, son œuvre*. Avec un exposé de sa philosophie. 2ème éd. Paris: Presses universitaires de France, 1956. (Philosophes)
Desanti, Jean Toussaint. *La Philosophie silencieuse ou critique des philosophies de la science*. Paris: Seuil, 1973.
Destouches, Jean Louis. *Problème de philosophie des sciences*. Bruxelles: Herman, 1947.
———. *La Mécanique ondulatoire*. Paris: Presses universitaires de France, 1948. («Que sais-je?» le point des connaissances actuelles; 311)
———. *La Physique mathématique*. Paris: Presses universitaires de France. [s.d.].
Eddington, Arthur Stanley. *The Philosophy of Physical Science*. New York: [n.pb.], 1974.
Einstein, Albert. *Comment je vois le monde*. Paris: Flammarion, [s.d.].
——— et Léopold Infild. *L'Evolution des idées en physique*. Paris: Payot, 1974. (Petite bibliothèque)
Etudes sur l'évolution d'un problème de physique. Paris: Vrin, 1970.
Fataliev, Kh. *Le Matérialisme dialectique et les sciences de la nature*. Moscou: Editions du progrès, [s.d.].

Fichant, M. et M. Pechenu. *Sur l'histoire des sciences.* Paris: Maspéro, 1974.

Galilée. *Dialogues et lettres choisies.* Paris: Hermann, 1966.

Gaydier, Pierre. *Les Grandes découvertes de la physique.* Paris: Corrêa, 1951.

———. *Histoire de la physique.* Paris: Presses universitaires de France, 1972.

Goldmann, Lucien. *Recherches dialectiques.* Paris: Gallimard, 1959.

Heisenberg, Werner. *La Nature dans la physique contemporaine.* Traduit de l'allemand par Ugné Karvelis et A.E. Leroy. Paris: Gallimard, c1962. (Idées)

———. *Physique et philosophie: La Science moderne en révolution.* Traduit de l'anglais par Jacqueline Hadamard. Paris: Albin Michel, c1961. (Les Savants et le monde)

Hempel, Carl Gustav. *Eléments d'épistémologie.* Traduit de Bertrant Saint-Sernin. Paris: Armand Colin, 1972. (Collection U_2; 209)

Humbert, Pierre. *L'Œuvre scientifique de Blaise Pascal.* Paris: [s.n.], 1947.

Hume D. *Enquête sur l'entendement humain.* Traduction de André Le Roy. Paris: Aubier, 1947.

Kedrov, Boniface. *Dialectique logique, gnoséologie: Leur unité.* Moscou: Editions du progrès, [s.d.].

Koyré, Alexandre. *Etudes d'histoire de la pensée scientifique.* Paris: Presses universitaires de France, [s.d.].

Laplace, Pierre Simon. *Théorie analytique des probabilités.* Essai philosophique sur les probabilités présenté comme introduction à la 2ème éd. (1814). Paris: Gauthier-Villars, 1886.

Lavelle, Louis. *La Philosophie française entre les deux genres.* Paris: Aubier, 1942.

Lecourt, Dominique. *Pour une critique de l'épistémologie (Bachelard, Canguilhem, Foucault).* Paris: F. Maspéro, 1972. (Théorie)

March, A. *La Physique moderne et ses théories.* Paris: Gallimard, [s.n.].

Meigne, Maurice. *Structure de la matière.* Paris: Presses universitaires de France, 1963. (Initiation philosophique; 63)

Meyerson, Emile. *De l'explication dans les sciences.* Paris: Payot, 1927.

———. *Reel et déterminisme dans la physique quantique.* Paris: Hermann et cie, 1933. (Exposés de philosophie des sciences, pub. sous la direction de L. de Broglie; 1)

Newton, Isaac. *Principes mathématiques de la philosophie naturelle.* Traduction de Mme du Châtelet. [s.l.: s.n., s.d.].

O'neil, W.M. *Faits et théories.* Paris: Armand Colin, 1972.

Park, P. *Aspects de la physique contemporaine.* Paris: Dunod, 1968.

Parnov, E. *Au Carrefour des infinis.* Moscou: Ed. Mir, 1972.

Piaget, Jean. *Introduction à l'épistémologie génétique.* Paris: Presses universitaires de France, 1974. 2 tomes.

——— [et al.]. *Logique et connaissance scientifique.* Paris: Gallimard, 1967.

Planck, Max Karl Ernst Ludwig. *L'Image du monde dans la physique moderne*. Paris: Editions Gantier, 1963. (Meditation)

Poincaré, Henri. *La Science et l'hypothèse*. Préface de Jules Vuillemin. Paris: Flammarion, 1968. (Science de la nature)

———. *La Valeur de la science*. Préface de Jules Vuillemin. Paris: Flammarion, 1970. (Science de la nature)

Ponomarev, Leonide. *Au Pays des quanta*. Paris: Vrin, 1974.

Reichenbach, Hans. *Physique et philosophie*. Paris: Albin Michel, 1961.

Rydnik, Vitalii IsaaKovich. *Qu'est-ce-que la mécanique quantique*. Moscou: Ed. Mir, 1969. (Science pour tous)

Schrödinger, Erwin. *Science et humanisme: La Physique de notre temps*. Belgique: Desclée de Brower, 1954.

Toulmin, Stephen Edelston. *L'Explication scientifique*. Paris: Armand Colin, 1973.

Ullmo, Jean. *La Pensée scientifique moderne*. Préface de Louis Armand. Paris: Flammarion, 1969. (Science de la nature)

Whewell, William. *De la construction de la science*. Traduction: Robert Blanché. Paris: Vrin, 1938. Livre II.

Periodicals

Le Lionnais-François. «La Méthode dans les sciences modernes.» *Revue travail et méthodes:* no. hors séries. éd. Blanchard.

Reichenbach, Hans. «Causalité et induction.» *Bulletin de la société française de philosophie:* juillet-septembre 1937.

Revue de métaphysique et de morale: 1899.

Ruyer, N. dans: *Revue philosophique:* juillet 1932.

Schrödinger, Erwin. «The Philosophy of Experiment.» *Neuvo Cimento:* 1955.

Conferences

XII^e Congrés International d'histoire des sciences. Paris: Librairie scientifique et technique; A. Blanchard, 1970.

Congrés International d'anthropologie et d'ethnologie, 1938.